



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이학석사 학위논문

태화강 중류에서 수중보가 물리·화학적
수질에 미치는 영향

The Effect of Submerged Weir on Physicochemical
Water Quality in Midstream of the Taewha River

울산대학교 대학원
생명과학과
김득훈

태화강 중류에서 수중보가 물리·화학적 수질에 미치는 영향

지도교수 김종설

이 논문을 이학석사 학위논문으로 제출함

2022년 2월

울산대학교 대학원
생명과학과
김득훈

김득훈의 이학석사 학위논문을 인준함

심사위원 정춘수 (인)

심사위원 김종설 (인)

심사위원 박정우 (인)

울산대학교 대학원

2022년 2월

국 문 요 약

한강, 낙동강, 금강, 영산강에 설치된 보의 수생태계에 미치는 영향에 대한 많은 관심에 비해, 이들 하천에 비해 길이가 짧고 경사가 급한 소규모 하천에서 수중보가 수질에 미치는 영향에 대한 연구는 부족한 실정이다. 태화강은 울산을 대표하는 하천으로, 본류에는 농업용수 취수 및 하천 수위 유지를 위한 여러 수중보가 위치하고 있다. 본 연구는 태화강 중류에 연속적으로 위치한 5개 수중보(강정보, 사연2낙차공, 사연1낙차공, 망성보, 입암낙차공)의 상류 및 하류 지점에서 물리·화학적 수질 분석과 조사 지점별 수질 측정값 사이의 상관관계 분석을 통해 수중보가 수질에 미치는 영향을 확인하고자 하였다.

2020년 7월부터 2021년 6월까지 2주 간격으로 각 수중보의 상류 및 하류 조사 지점의 표층에서 수온, 수소이온농도, 용존산소량, 화학적 산소요구량, 총 질소, 질산성 질소, 암모니아성 질소, 총 인, 인산염 인, 엽록소 a , 부유물질 등 11개 수질 항목에 대해 분석하였다. 총 질소와 암모니아성 질소는 강정보에서 망성보까지 상류에서 하류 방향으로 농도가 감소하는 경향이었고, 망성보와 입암낙차공은 비슷한 농도 수준이었다. 총 인과 인산염 인의 농도는 강정보와 사연2낙차공이 비슷한 수준이었고, 망성보와 입암낙차공도 서로 비슷한 수준이었으며, 강정보와 사연2낙차공의 농도가 망성보와 입암낙차공의 농도 보다 높았다. 이는 강정보의 상류 지점에 영양물질(질소와 인)의 오염원이 위치하며, 망성보 지점까지는 강정보 상류 지점 오염원의 영향을 받고 있음을 보여준다.

수중보가 수질에 미치는 영향을 평가하기 위해 조사 지점 사이의 피어슨 상관계수를 구하였다. 총 질소, 암모니아성 질소, 총 인, 인산염 인, 엽록소 a 농도 측정값의 경우, <같은 보를 기준으로 상류와 하류 지점 사이의 상관관계의 강도>가 <서로 다른 보의 상류와 상류 혹은 하류와 하류 사이의 상관관계 강도>보다 더 컸다. 이는 조사대상 수중보가 위치한 태화강 중류에서, 영양물질(질소와 인)과 광합성 조류(엽록소 a)의 농도는 보의 존재 보다 상류에 위치한 오염원으로부터의 거리에 의해 더 크게 영향을 받음을 보여준다.

목 차

국문요약	i
목차	ii
List of Figures	iii
List of Tables	iv
I. 서론	1
II. 재료 및 방법	3
1. 시료 채취	3
2. 물리·화학적 수질 분석	3
3. 상관관계 분석	5
III. 결과	6
1. 수질 분석 결과	6
1.1 수온(Water temperature)	6
1.2 수소이온농도(pH)	6
1.3 용존산소량(Dissolved Oxygen, DO)	9
1.4 화학적 산소요구량(Chemical Oxygen Demand, COD)	9
1.5 총 질소(Total Nitrogen, T-N)	12
1.6 질산성 질소(Nitrate Nitrogen, NO ₃ -N)	12
1.7 암모니아성 질소 (Ammonia Nitrogen, NH ₃ -N)	15
1.8 총 인(Total phosphorus, T-P)	15
1.9 인산염 인(Phosphorate Phosphorus, PO ₄ ³⁻ -P)	18
1.10 엽록소 <i>a</i> (Chlorophyll <i>a</i>)	18
1.11 부유물질(Suspended Solid, SS)	21
2. 상관관계 분석 결과	21
2.1 강정보 측정값 비교	21
2.2 사연2낙차공 측정값 비교	22
2.3 사연1낙차공 측정값 비교	22
2.4 망성보 측정값 비교	32
2.5 입암낙차공 측정값 비교	32
IV. 고찰	37
V. 참고문헌	41
Abstract	43

List of Figures

Figure 1. Five sampling locations in midstream of the Taewha River with submerged weirs	3
Figure 2. Water temperature measured upstream and downstream of submerged weir at five sampling locations in midstream of the Taewha River	7
Figure 3. pH measured upstream and downstream of submerged weir at five sampling locations in midstream of the Taewha River	8
Figure 4. Dissolved Oxygen(DO) measured upstream and downstream of submerged weir at five sampling locations in midstream of the Taewha River	10
Figure 5. Chemical Oxygen Demand(COD) measured upstream and downstream of submerged weir at five sampling locations in midstream of the Taewha River	11
Figure 6. Total Nitrogen(T-N) measured upstream and downstream of submerged weir at five sampling locations in midstream of the Taewha River	13
Figure 7. Nitrate Nitrogen(NO ₃ -N) measured upstream and downstream of submerged weir at five sampling locations in midstream of the Taewha River	14
Figure 8. Ammonia Nitrogen(NH ₃ -N) measured upstream and downstream of submerged weir at five sampling locations in midstream of the Taewha River	16
Figure 9. Total Phosphorus(T-P) measured upstream and downstream of submerged weir at five sampling locations in midstream of the Taewha River	17
Figure 10. Phosphate Phosphorus(PO ₄ ³⁻ -P) measured upstream and downstream of submerged weir at five sampling locations in midstream of the Taewha River	19
Figure 11. Chlorophyll <i>a</i> measured upstream and downstream of submerged weir at five sampling locations in midstream of the Taewha River	20
Figure 12. Suspended Solid(SS) measured upstream and downstream of submerged weir at five sampling locations in midstream of the Taewha River	23

List of Tables

Table 1. Average, maximum and minimum of water quality measurements at five sampling locations in midstream of the Taewha River.....	24
Table 2. Significance of Pearson's correlation coefficient between upstream and downstream values of submerged weir in KJ location	26
Table 3. Significance of Pearson's correlation coefficient between upstream and downstream values of submerged weir in SY2 location	28
Table 4. Significance of Pearson's correlation coefficient between upstream and downstream values of submerged weir in SY1 location	30
Table 5. Significance of Pearson's correlation coefficient between upstream and downstream values of submerged weir in MS location	33
Table 6. Significance of Pearson's correlation coefficient between upstream and downstream values of submerged weir in IA location	35
Table 7. Significance of Pearson's correlation coefficient between upstream and downstream values of submerged weirs in five sampling locations	39

I. 서론

보는 논밭이나 과수원에 농업용수로 공급하기 위해 하천에 독을 쌓아 수위를 높여주는 횡단 구조물이며, 작은 댐의 역할로 홍수조절도 한다. 전국적으로 약 37,000개 이상의 보가 설치되어 있으며, 울산광역시에는 약 730개의 보가 설치되어 있다(10). 우리나라에 설치된 보들 중 약 70%의 높이가 1.0m 이하이며, 약 25%가 1.0~2.0m 높이며, 2.0m보다 높은 보가 약 5%를 차지하고 있다. 2.0m 이상의 높이를 가진 보들은 하천의 유속을 조절하여 흐름을 안정화시켜 하상 세굴들을 방지하기 위한 낙차공의 역할도 겸하고 있다(9).

보와 같이 인위적으로 만들어진 횡단구조물들은 하천의 상·하류를 구분 짓고 수위와 흐름을 변경시키고 체류 시간을 증가시킴으로 하천의 연속성을 해치게 된다(15). 독을 쌓아 하천의 수위를 조절하여 소규모 홍수와 대규모 홍수를 방지하여 댐 역할의 기능까지 수행하는 보는 상류에서 내려오는 퇴적물이 보로 인해 쌓이게 되어, 상류 쪽의 수질 악화가 발생하게 된다. 이로 인해 토사물들의 이동이 저해되어 하류 하천이 훼손되는 현상이 발생하게 된다. 또한 홍수가 사라지게 되어 어류의 이동 및 산란, 범람원 내 식물 분포 및 개체수, 수생 및 강가의 생태 군락 등의 생태계에 적지 않은 변화를 야기할 수 있다(3, 5, 8). 실제로 이러한 보의 기능들이 수중생물들의 생활에 직간접적으로 영향을 미치게 되어 생물량의 감소와 생물상에 영향을 주어, 군집분석 결과 우점도 지수가 하류로 갈수록 감소한 반면에 다양도와 풍부도 지수는 하류로 갈수록 증가하였다(4).

최근에는 보가 수생태계에 미치는 영향들로 인해 하천생태통로 및 생태환경 복원 차원에서 철거의 필요성이 대두되고 있다. 실제로 국내에서는 매년 50-150개의 보가 기능을 상실하고 있다. 미국의 경우에는 1970년대부터 보들을 철거하고 있고, 국내에서도 몇몇 지자체에서 철거를 진행하고 있지만 보를 철거했을 때의 문제점들로 인해 기능이 상실되었지만 여전히 방치되어 있는 보들이 많이 존재한다(1).

이러한 기능을 다하고 용도가 폐기된 보들을 철거하여 하천 생태통로를 복원하고, 하천 수질개선을 복원사업을 추진할 때에는 많은 고려 사항들이 존재한다. 긍정적인 측면으로 보가 철거되면 하천 생태통로가 확보되는데, 이는 어류 등의 하천 생물들의 이동이 자유로워지는 것이 가능하고 하천 생태계 보전에 유익할 것으로 본다. 또한 어도를 설치한 보의 경우 하천 생태계의 이동 역할을 할 수 있지만, 상류와 하류 사이에 어류의 자유로운 이동을 확보하는 것은 어렵다. 실제로 현재 국내에 설치되어 있는 어도들 대부분이 유량확보의 문제 때문에 어도 내의 물이 지속적으로 흐르지 못하거나 회유성 어류종과 같이 특정 종들만 이용가능하다는 문제점이 있다. 뿐만 아니라 보의 설치로 강의 길이와 방향 등이 변경이 이루어져서 어류 분포와 이동에 영향을 주고 환경의 변화에 의해 유전적 악화를 발생시킨다. 또 이동이 단절된 종들의 경우에는 최적의 서식지에 도달할 수 없게 되어 개체수 감소까지 이르게 된다(2, 7, 13).

부정적인 측면으로는 하천 경사가 급하고 빠른 유속으로 하상 세굴이 발생하는 지점에 설치된 보를 철거하게 되면, 추가적으로 이를 방지하기 위한 구조물을 설치해주어야 한다. 이는 하천 생태계에 다른 문제를 야기할 수 있다. 또 보는 댐의 역할을 겸하고 있기에 강수량이 많은 시기에는 홍수로 인한 피해를 막아주지 못할 수 있다. 또한 퇴적된 오염 저니의 확산 및 하류 이송으로 수질을 악화할 수 있다. 그로 인해 상류 지점에서는 세굴이 발생하게 되고, 하류 지점에서는 퇴적물이 쌓여 수위 상승의 문제를 야기할 수 있다(2).

이처럼 설치된 보가 하천의 상·하류를 구분 지어 물질 이동을 억제하고 생태계에 영향을 주어 하천의 연속성을 차단하는 등의 문제점들로 인해 철거했을 때 나타나는 현상과 보의 물리적인 기능 연구와 어류 등의 생태계에 관련된 연구들이 많이 이루어지고 있지만 수질에 대한 연구는 미흡한 점이 많이 있다(5, 9). 그 중에서도 한강, 낙동강, 금강, 영산강과 같은 4대강에 설치된 보의 수생태계에 미치는 영향에 대해서는 많은 관심이 있지만, 이들 하천에 비해 길이가 짧고 경사가 급한 소규모 하천에서의 수중보에 대한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 하천에 설치된 수중보를 기준으로 상류와 하류 간의 수질을 물리·화학적인 분석 방법을 통하여 측정하였다. 이에 태화강 중류에 연속적으로 위치한 수중보 5개 조사지점(강정보, 사연1낙차공, 사연2낙차공, 망성보, 입암낙차공)을 대상으로 2020년 7월부터 2021년 6월까지 상류 및 하류 조사 지점의 표층에서 수온, 수소이온농도(pH), 용존산소량(DO), 화학적 산소요구량(COD), 총 질소(T-N), 질산성 질소(NO₃-N), 암모니아성 질소(NH₃-N), 총 인(T-P), 인산염 인(PO₄³⁻-P), 엽록소 *a*(Chlorophyll *a*), 부유물질(SS) 등 11개 수질 항목에 대해 분석하였다. 분석 이후에 상류 및 하류에 수중보가 수질에 미치는 영향을 평가하기 위해 조사 지점 사이의 피어슨 상관계수를 구하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시료 채취

태화강 중류의 수중보로 인한 물리·화학적인 영향을 확인하기 위해 연속적으로 위치한 강정보(KJ), 사연2낙차공(SY2), 사연1낙차공(SY1), 망성보(MS), 입암낙차공(IA) 등 5개 지점을 선정하였다(Figure 1). 수중보를 기준으로 상류와 하류 별로 강정보와 입암낙차공 지점은 각각 2곳을 채수하였고, 나머지 지점에서는 각각 1곳을 지정하여 채수하였다. 선정한 5개 지점에서 강정보, 사연2낙차공, 망성보, 입암낙차공 등 4개의 지점은 2020년 7월 3일부터 2021년 6월 6일까지 시료를 채취하였고, 사연1낙차공은 2020년 10월 22일부터 2021년 6월 6일까지 시료를 채취하였다. 시료 채취 주기는 2주 간격으로 총 25회 진행하였고, 2020년 7월 30일~31일은 폭우 관계로 시료를 2일간 나누어서 진행하였다.

현장에서 측정할 수 있는 분석 항목 외에 실험실에서 측정해야 하는 분석 항목들은 1L 채수병(SPL, model 410011)을 이용하여 각 지점에서의 표층을 채수하였다. 채수한 시료는 냉장 보관하여 실험실로 운반하여 분석하였다.

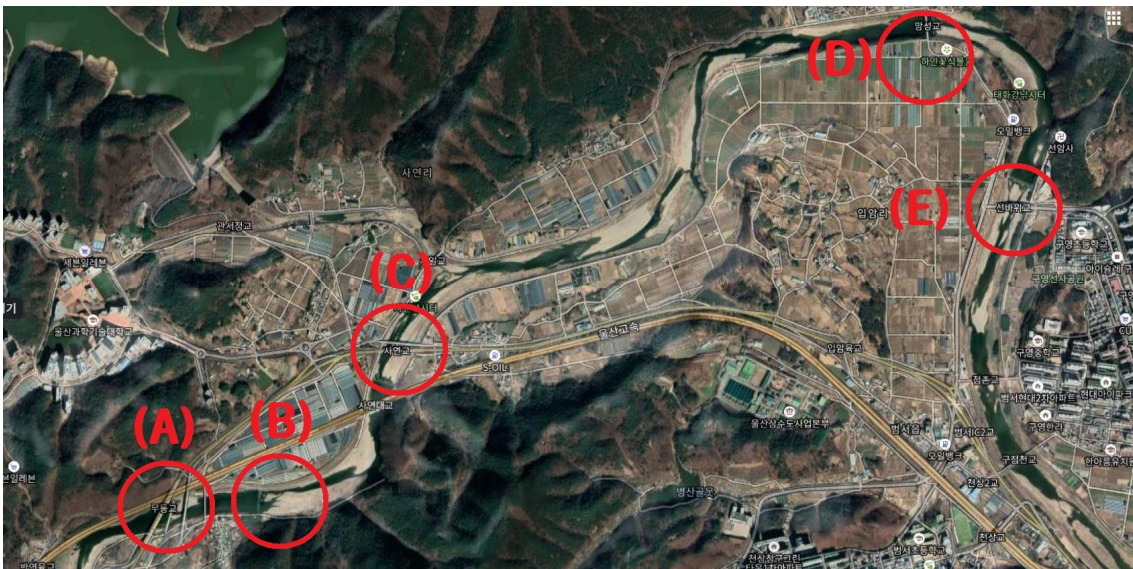


Figure 1. Five sampling locations in midstream of the Taewha River with submerged weirs (A) KJ. (B) SY2. (C) SY1. (D) MS. (E) IA.

2. 물리·화학적 수질 분석

수온과 용존산소량(DO)은 현장에서 thermometer/DO meter (OHAUS, model ST300D)를 이용하여 동시에 측정하였고, 수소이온농도(pH)는 실험실에 시료를 운반하여 pH meter (OHAUS, model ST2100)를 이용하여 측정하였다.

화학적 산소요구량(COD)은 COD kit(HANNA, model HI 93754A)에 시료 2mL을 넣은 후, COD reactor(HANNA, model HI839800)에 2시간 동안 150°C 가열 반응을 하였다. 가열이 끝난 COD kit를 test tube rack으로 이동 한 뒤 20분 정도 실온에서 식힌 후, COD 측정기(HANNA, model HI83314)로 측정하였다.

총 질소(T-N), 질산성 질소(NO₃-N), 암모니아성 질소(NH₃-N), 총 인(T-P), 인산염 인(PO₄³⁻-P), 엽록소 a(Chlorophyll a), 부유물질(SS)은 환경부 수질오염공정시험방법에 의거하여 분석하였다(12).

총 질소(T-N)는 산화법을 적용했으며, 시료 50ml에 알칼리성 과황산칼륨 용액(NaOH 8g, Potassium Persulfate 6g; distilled water, 200ml) 10ml을 넣어 섞은 다음 고압증기멸균기에 넣고 가열 분해하였다. 시료를 유리섬유여과지(GF/C filter, diameter 47mm, Whatman Co.)로 흡입 여과하고, 여과된 시료 25ml를 취하여 50ml 부피플라스크에 옮겨 염산용액 5ml 넣은 후 섞고 냉각시켜주었다. 시료 2ml을 취하여 10mm 흡수 셀에 옮긴 후 분광광도계(OPTIZEN, model 2120UV)를 이용하여 220nm에서 측정하였다.

질산성 질소(NO₃-N)는 부루신법을 적용했으며, 50ml 부피플라스크에 시료 10ml와 황산용액 10ml를 섞고 부루신 용액(Brucine Sulfate 0.1g, Sulfanilic acid 1g, HCl 3ml; distilled water 97ml) 0.5ml을 넣고 80°C 항온수조에서 20분간 가열반응을 시켰다. 가열된 시료를 냉각시키고, 2ml를 취하여 10mm 흡수 셀에 옮긴 후 분광광도계를 이용하여 410nm에서 측정하였다.

암모니아성 질소(NH₃-N)는 인도 페놀법을 적용했으며, 50ml 부피플라스크에 시료 30ml을 넣고 페놀 용액(NaOH[40g; distilled water, 100ml] 55ml, Phenol 25g, Acetone 5ml; distilled water, 140ml) 10ml와 나이트로플루시드 용액(Sodium Nitroprusside 0.15g; distilled water, 100ml) 용액 1ml와 차아염소산 용액 5ml를 넣어 섞은 후 부피플라스크 표선을 채우고 30분간 실온에서 반응시켜주었다. 시료 2ml를 취하여 10mm 흡수 셀에 옮긴 후 분광광도계를 이용하여 630nm에서 측정하였다.

총 인(T-P)은 아스코빈산 환원법을 적용했으며, 시료 50ml에 과황산칼륨 용액 (Potassium Persulfate 8g; distilled water 200ml) 10ml를 넣어 섞은 다음 고압증기멸균기에 넣고 가열 분해하였다. 시료 25ml를 취하여 50ml 부피플라스크에 넣고 몰리브덴산 용액(Ammonium Molybdate 6g, Antimony Potassium Tartrate 0.24g, Ammonium Sulfamate 5g, H₂SO₄ 120ml; distilled water 380ml)과 아스코빈산 용액 (L-Ascorbic acid 7.2g ; distilled water 100ml) 1:1 혼합액을 2ml를 넣어 섞은 후 15분간 실온에서 반응시켜주었다. 시료 2ml를 취하여 10mm 흡수 셀에 옮긴 후 분광광도계를 이용하여 880nm에서 측정하였다.

인산염 인(PO₄³⁻-P)은 아스코빈산 환원법을 적용했으며, 유리섬유여과지(GF/C)를 여과기에 부착하여 시료 50ml를 여과했다. 50ml 부피플라스크에 여과한 시료 30ml를 넣고 몰리브덴산 용액(Ammonium Molybdate 6g, Antimony Potassium Tartrate 0.24g, Ammonium Sulfamate 5g, H₂SO₄ 120ml; distilled water 380ml)과 아스코빈산 용액 (L-Ascorbic acid 7.2g ; distilled water 100ml) 1:1 혼합액을 4ml를 넣어 섞은 후 부피플라스크 표선을 채우고 실온에서 15분간 반응시켜주었다. 시료 2ml를 취하여 10mm 흡수 셀에 옮긴 후 분광광도계를 이용하여 880nm에서 측정하였다.

엽록소 a(Chlorophyll a)는 유리섬유여과지(GF/C)를 여과기에 부착하여 시료 100ml를 흡입 여과하였다. 여과한 여과지를 아세톤 용액 10ml에 마쇄하고 12시간 이상 암냉 상태에 보관하였다. 보관한 시료를 원심분리 후 상층액 2ml를 취하여 10mm 흡수 셀에 옮긴 후 분광광도계를 이용하여 750nm, 663nm, 645nm, 630nm에서 측정하였다.

부유물질(SS)은 유리섬유여과지(GF/C)를 여과기에 부착하여 증류수 20ml를 3회 흡입 여과한 다음 증발 접시 위에 놓고 110°C의 건조기 안에서 2시간 건조시켰다. 건조한 여과지의 무게를 측정하고 기록하였다. 여과기에 여과지를 다시 부착하고 시료 200ml를 흡입 여과하여

증발 접시 위에 놓고 110°C의 건조기 안에서 2시간 건조시켰다. 건조한 여과지의 무게를 재어 건조 전후의 무게 차이를 측정하여 부유물질의 양을 측정하였다.

3. 상관관계 분석

하천에 설치된 수중보가 수질에 미치는 물리·화학적인 영향을 비교하기 위해 상류와 하류 측정값 사이의 Pearson 상관 계수를 사용하였다. 상관 계수는 -1에서 1 사이의 값을 가지며, -1의 값은 음의 선형 상관관계를 의미하며 1은 양의 선형 상관관계를 의미한다. 0의 값은 상류와 하류 측정값 사이에 유의한 상관관계가 없음을 나타낸다.

각 지점의 상류와 하류 측정값 사이에 유의하다는 상관관계 값은 수중보가 하천의 수질에 물리·화학적으로 영향을 준다는 것이 어렵다는 것으로 해석한다. 상관계수 r 의 값이 0.1과 0.3에서는 약한 상관관계, 0.3과 0.7에서는 보통 상관관계, 0.7과 1.0에서는 강한 상관관계를 의미하므로, 강한 상관관계의 값일수록 수중보가 하천의 수질에 물리·화학적 영향을 주기가 어렵다는 것으로 해석한다.

Ⅲ. 결과

1. 수질 분석 결과

1.1 수온(Water temperature)

수온은 조사 기간 중 2020년 7월 3일부터 2021년 6월 6일까지 측정을 실시하였다. 강정보 지점에서 상류 지점의 평균 수온은 15.41 °C이었고, 하류 지점의 평균 수온은 15.28 °C이었다. 2020년 8월 28일 상류와 하류 지점에서 각각 27.35 °C, 26.90 °C의 최고치를 보였으며, 2021년 1월 4일 상류와 하류 지점에서 각각 3.70 °C, 3.55 °C의 최저치를 보였다. 사연2낙차공 지점에서 상류 지점의 평균 수온은 15.37 °C이었고, 하류 지점의 평균 수온은 15.40 °C이었다. 2020년 8월 28일 상류와 하류 지점에서 27.00 °C의 동일한 최고치를 보였으며, 2021년 1월 4일 상류와 하류 지점에서 각각 3.60 °C, 3.70 °C의 최저치를 보였다. 사연1낙차공 지점에서 상류 지점의 평균 수온은 12.13 °C이었고, 하류 지점의 평균 수온은 12.08 °C이었다. 2021년 6월 6일 상류와 하류 지점에서 각각 21.30 °C, 21.20 °C의 최고치를 보였으며, 2021년 1월 4일 상류와 하류 지점에서 각각 3.80 °C, 3.90 °C의 최저치를 보였다. 망성보 지점에서 상류 지점과 하류지점은 평균 수온이 15.43 °C으로 동일했다. 2020년 8월 28일 상류와 하류 지점에서 각각 28.10 °C, 26.50 °C의 최고치를 보였으며, 2021년 1월 4일 상류와 하류 지점에서 3.70 °C의 동일한 최저치를 보였다. 입암낙차공 지점에서 상류 지점의 평균 수온은 15.46 °C이었고, 하류 지점의 평균 수온은 15.75 °C이었다. 2020년 8월 28일 상류와 하류 지점에서 각각 26.90 °C, 26.70 °C의 최고치를 보였으며, 2021년 1월 4일 상류와 하류 지점에서 각각 3.35 °C, 3.80 °C의 최저치를 보였다(Figure 2, Table 1).

1.2 수소이온농도(pH)

수소이온농도는 조사 기간 중 2020년 8월 14일부터 2021년 6월 6일까지 측정을 실시하였다. 강정보 지점에서 상류 지점의 평균 수소이온농도는 7.74이었고, 하류 지점의 평균 수소이온농도는 7.75이었다. 2021년 3월 28일 상류와 하류 지점에서 각각 8.14, 8.22의 최고치를 보였으며, 2020년 11월 20일 상류와 하류 지점에서 각각 7.29, 7.31의 최저치를 보였다. 사연2낙차공 지점에서 상류와 하류 지점의 평균 수소이온농도는 7.81으로 동일했다. 2021년 3월 15일 상류와 하류 지점에서 각각 8.11, 8.13의 최고치를 보였으며, 2020년 11월 20일 상류와 하류 지점에서 각각 7.34, 7.42의 최저치를 보였다. 사연1낙차공 지점에서 상류 지점의 평균 수소이온농도는 7.79이었고, 하류 지점의 평균 수소이온농도는 7.84이었다. 2021년 3월 28일 상류와 하류 지점에서 각각 8.15, 8.12의 최고치를 보였으며, 2021년 1월 4일 상류와 하류 지점에서 각각 7.27, 7.36의 최저치를 보였다. 망성보 지점에서 상류와 하류 지점의 평균 수소이온농도는 7.76으로 동일했다. 2021년 3월 28일 상류와 하류 지점에서 각각 8.06, 8.21의 최고치를 보였으며, 2020년 10월 22일 상류와 하류 지점에서 각각 7.36, 7.21의 최저치를 보였다. 입암낙차공 지점에서 상류 지점의 평균 수소이온농도는 7.63이었고, 하류 지점의 평균 수소이온농도는 7.67이었다. 2021년 3월 28일 상류와 하류 지점에서 각각 8.19, 8.08의 최고치를 보였으며, 2020년 11월 20일 상류와 하류 지점에서 각각 7.23, 7.30의 최저치를 보였다(Figure 3, Table 1).

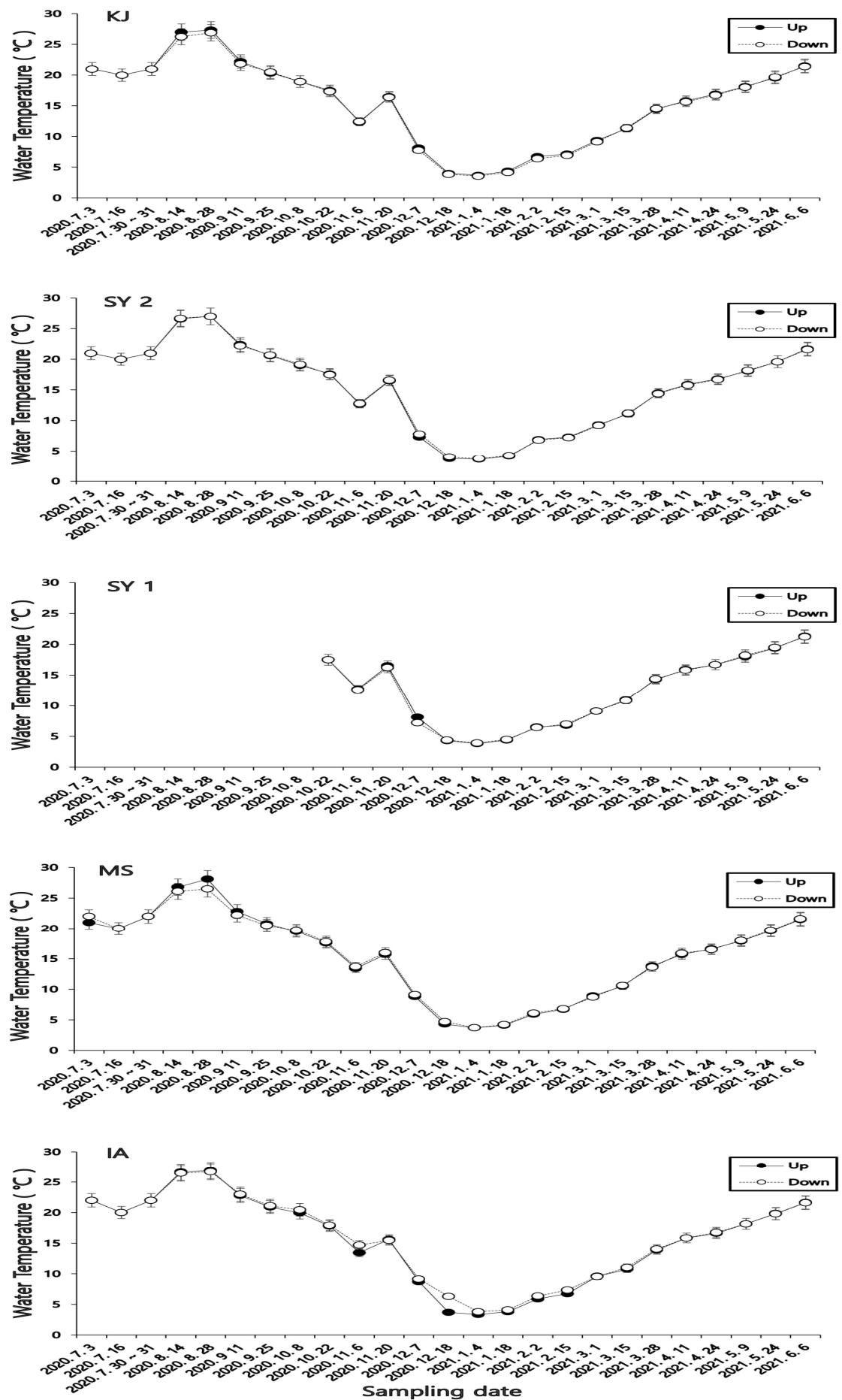


Figure 2. Water temperature measured upstream and downstream of submerged weir at five sampling locations in midstream of the Taewha River

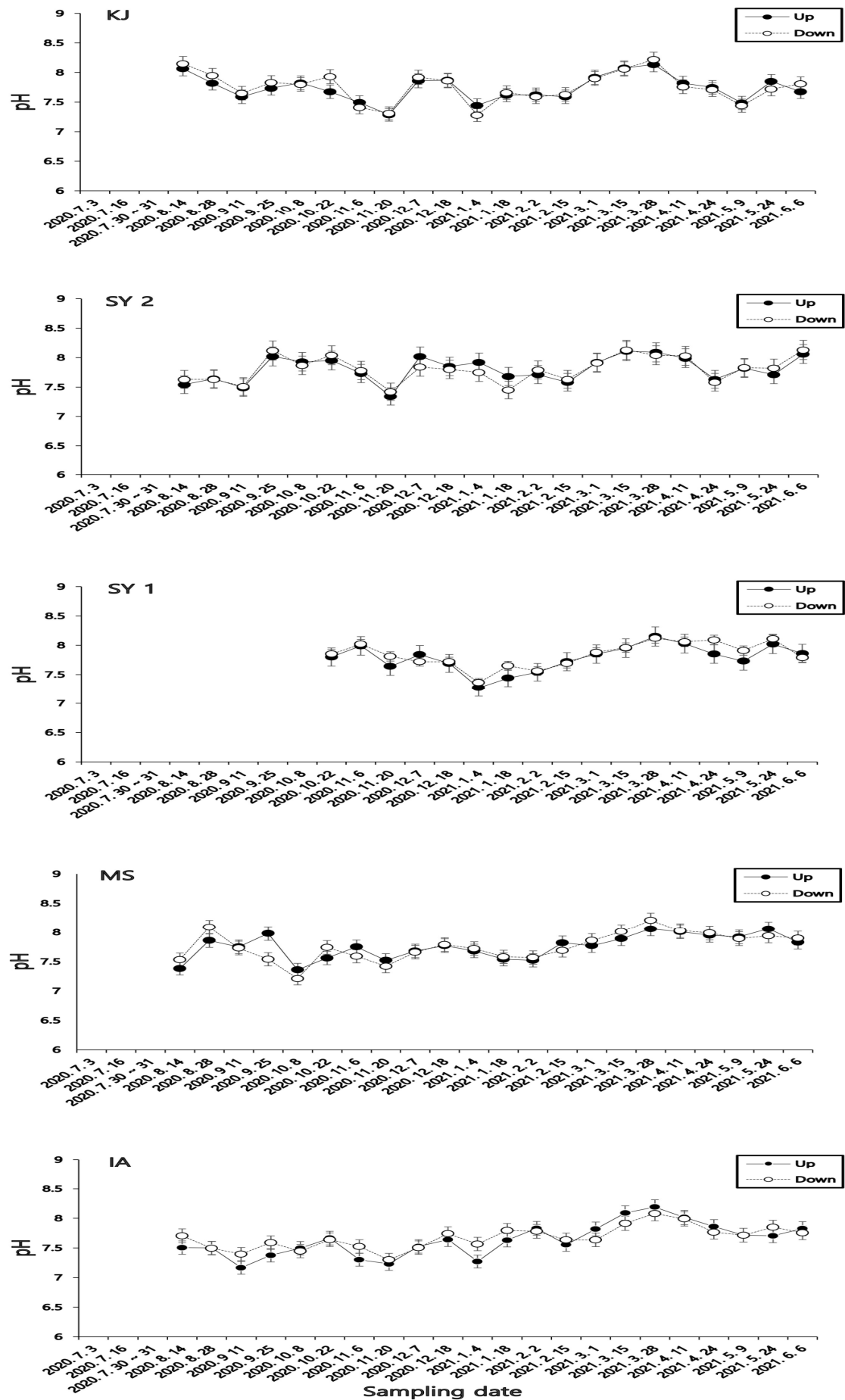


Figure 3. pH measured upstream and downstream of submerged weir at five sampling locations in midstream of the Taewha River

1.3 용존산소량(Dissolved Oxygen, DO)

용존산소량은 조사 기간 중 2020년 8월 14일부터 2021년 6월 6일까지 측정을 실시하였다. 강정보 지점에서 상류 지점의 평균 용존산소량은 10.06 mg/L이었고, 하류 지점의 평균 용존산소량은 9.88 mg/L이었다. 2021년 2월 15일 상류와 하류 지점에서 각각 14.17 mg/L, 13.80 mg/L의 최고치를 보였으며, 2020년 10월 22일 상류와 하류 지점에서 각각 6.73 mg/L, 6.88 mg/L의 최저치를 보였다. 사연2낙차공 지점에서 상류 지점의 평균 용존산소량은 10.24 mg/L이었고, 하류 지점의 평균 용존산소량은 9.97 mg/L이었다. 2021년 1월 4일 상류와 하류 지점에서 각각 15.20 mg/L, 14.22 mg/L의 최고치를 보였으며, 2020년 8월 28일 상류와 하류 지점에서 각각 6.80 mg/L, 6.74 mg/L의 최저치를 보였다. 사연1낙차공 지점에서 상류 지점의 평균 용존산소량은 10.60 mg/L이었고, 하류 지점의 평균 용존산소량은 9.97 mg/L이었다. 2021년 2월 2일 상류와 하류 지점에서 각각 14.22 mg/L, 14.07 mg/L의 최고치를 보였으며, 2020년 10월 22일 상류와 하류 지점에서 각각 7.12 mg/L, 7.11 mg/L의 최저치를 보였다. 망성보 지점에서 상류 지점의 평균 용존산소량은 10.06 mg/L이었고, 하류 지점의 평균 용존산소량은 10.09 mg/L이었다. 2021년 1월 18일 상류와 하류 지점에서 각각 13.50 mg/L, 13.82 mg/L의 최고치를 보였으며, 2020년 10월 22일 상류와 하류 지점에서 각각 6.81 mg/L, 7.10 mg/L의 최저치를 보였다. 입암낙차공 지점에서 상류 지점의 평균 용존산소량은 10.11 mg/L이었고, 하류 지점의 평균 용존산소량은 10.02 mg/L이었다. 2021년 1월 18일 상류와 하류 지점에서 각각 14.74 mg/L, 14.43 mg/L의 최고치를 보였으며, 2020년 10월 22일 상류와 하류 지점에서 각각 6.62 mg/L, 6.71 mg/L의 최저치를 보였다(Figure 4, Table 1).

1.4 화학적 산소요구량(Chemical Oxygen Demand, COD)

화학적 산소요구량은 조사 기간 중 2020년 10월 22일부터 2021년 6월 6일까지 측정을 실시하였다. 강정보 지점에서 상류 지점의 평균 화학적 산소요구량은 3.68 mg/L이었고, 하류 지점의 평균 화학적 산소요구량은 3.15 mg/L이었다. 2020년 10월 22일 상류와 하류 지점에서 각각 6.50 mg/L, 5.00 mg/L의 최고치를 보였으며, 2021년 1월 18일 상류와 하류 지점에서 각각 2.50 mg/L, 1.50 mg/L의 최저치를 보였다. 사연2낙차공 지점에서 상류 지점의 평균 화학적 산소요구량은 4.35 mg/L이었고, 하류 지점의 평균 화학적 산소요구량은 3.12 mg/L이었다. 2020년 10월 22일 상류와 하류 지점에서 각각 7.00 mg/L, 5.00 mg/L의 최고치를 보였으며, 2021년 1월, 3월 15일, 4월 11일 상류와 하류 지점에서 동일하게 각각 3.00 mg/L, 2.00 mg/L의 최저치를 보였다. 사연1낙차공 지점에서 상류 지점의 평균 화학적 산소요구량은 4.00 mg/L이었고, 하류 지점의 평균 화학적 산소요구량은 2.59 mg/L이었다. 2020년 10월 22일 상류와 하류 지점에서 각각 8.00 mg/L, 5.00 mg/L의 최고치를 보였으며, 2020년 12월 7일, 2021년 3월 15일 상류와 하류 지점에서 동일하게 각각 3.00 mg/L, 1.00 mg/L의 최저치를 보였다. 망성보 지점에서 상류 지점의 평균 화학적 산소요구량은 3.47 mg/L이었고, 하류 지점의 평균 화학적 산소요구량은 2.29 mg/L이었다. 2020년 10월 22일 상류와 하류 지점에서 각각 5.00 mg/L, 6.00 mg/L의 최고치를 보였으며, 2021년 1월 18일, 5월 9일 상류와 하류 지점에서 동일하게 각각 3.00 mg/L, 1.00 mg/L의 최저치를 보였다. 입암낙차공 지점에서 상류 지점의 평균 화학적 산소요구량은 3.38 mg/L이었고, 하류 지점의 평균 화학적 산소요구량은 2.85 mg/L이었다. 2020년 10월 22일 상류와 하류 지점에서 5.50 mg/L의 동일한 최고치를 보였으며, 2021년 1월 18일 상류와 하류 지점에서 1.50 mg/L의 동일한 최저치를 보였다(Figure 5, Table 1).

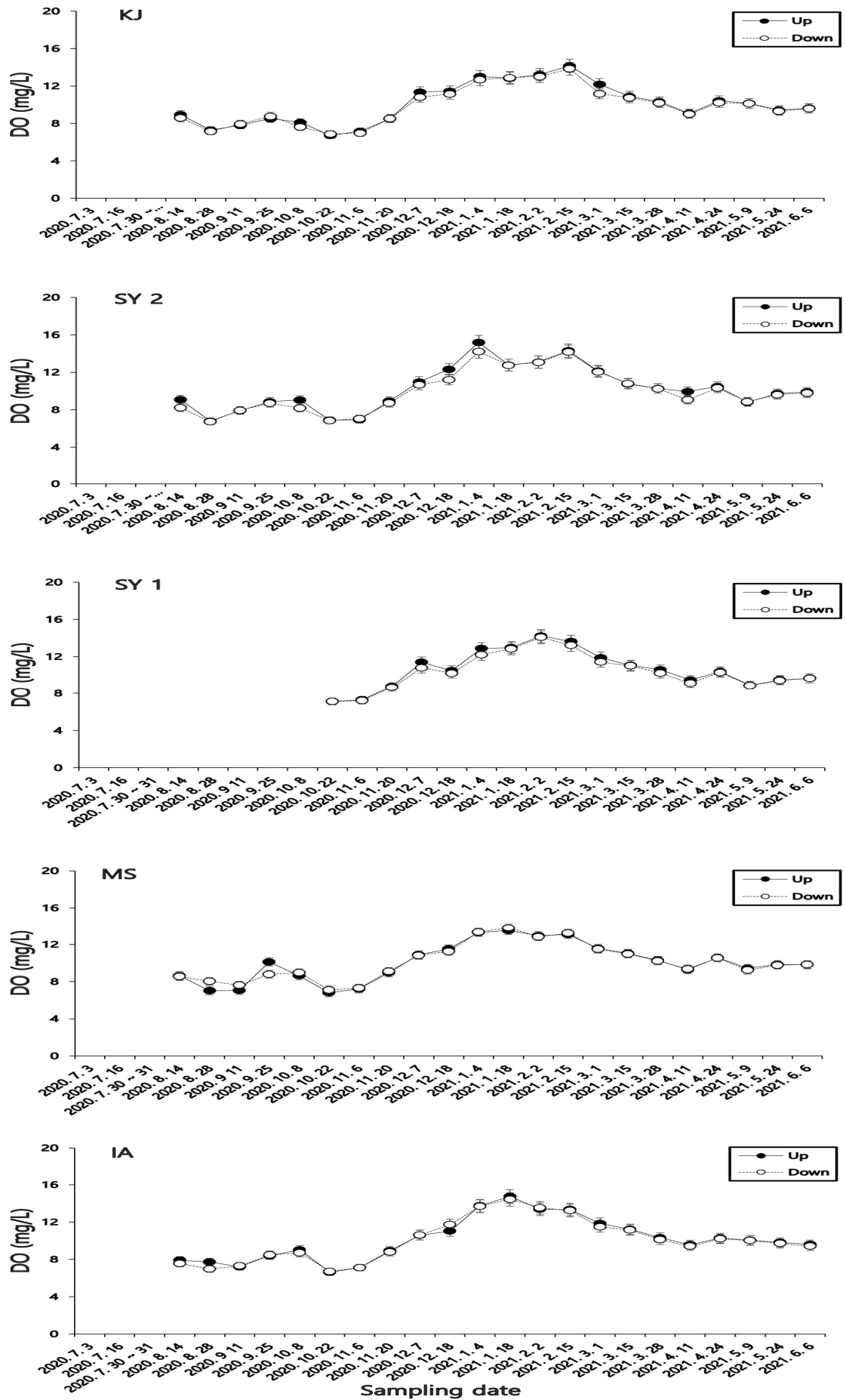


Figure 4. Dissolved Oxygen(DO) measured upstream and downstream of submerged weir at five sampling locations in midstream of the Taewha River

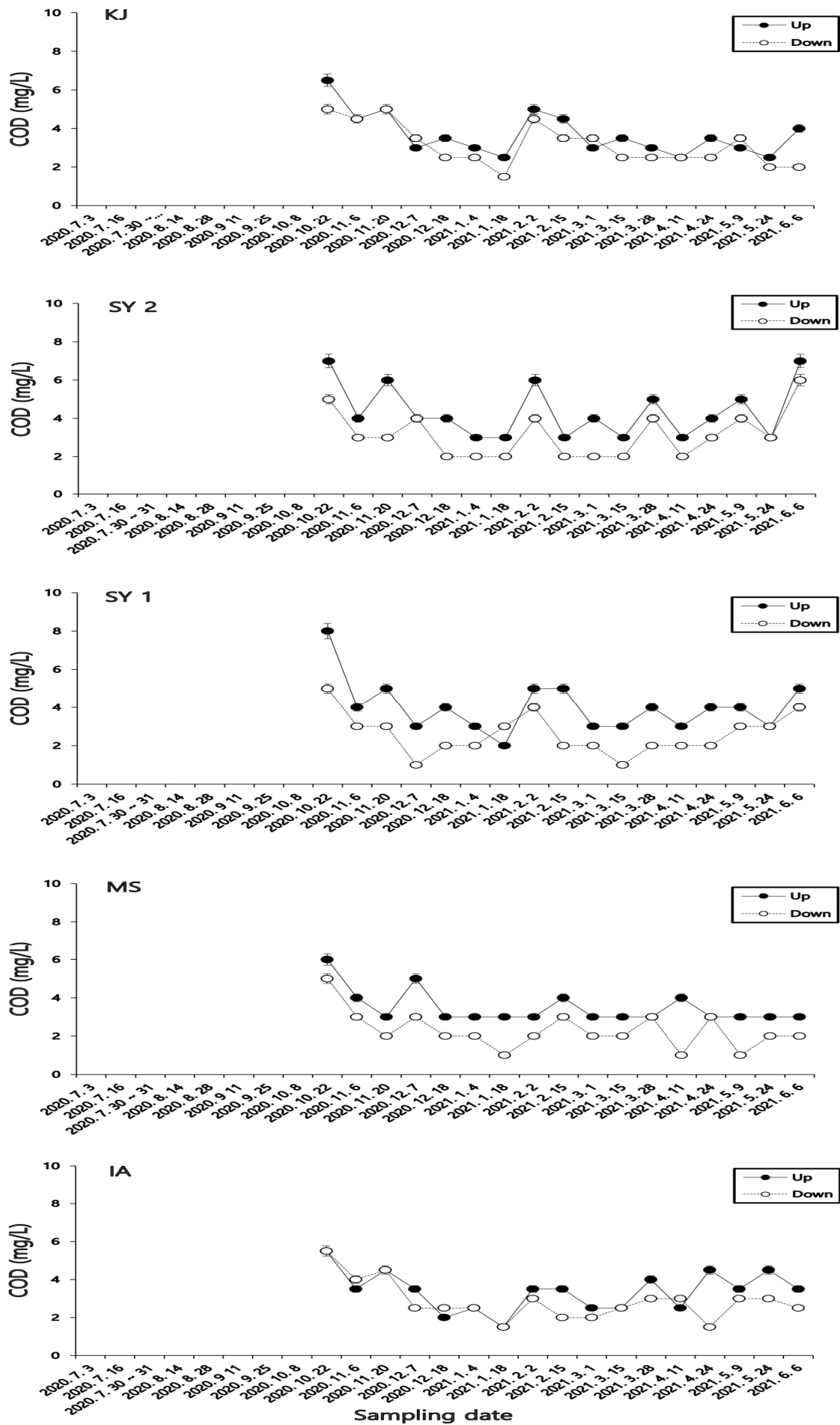


Figure 5. Chemical Oxygen Demand(COD) measured upstream and downstream of submerged weir at five sampling locations in midstream of the Taewha River

1.5 총 질소(Total Nitrogen, T-N)

총 질소는 조사 기간 중 2020년 7월 3일부터 2021년 6월 6일까지 측정을 실시하였다. 강정보 지점에서 상류 지점의 총 질소 평균 농도는 3.53 mg/L이었고, 하류 지점의 총 질소 평균 농도는 3.50 mg/L이었다. 2021년 3월 15일 상류와 하류 지점에서 각각 4.47 mg/L, 4.46 mg/L의 최고치를 보였으며, 2020년 9월 11일 상류와 하류 지점에서 각각 2.52 mg/L, 2.36 mg/L의 최저치를 보였다. 사연2낙차공 지점에서 상류 지점의 총 질소 평균 농도는 3.48 mg/L이었고, 하류 지점의 총 질소 평균 농도는 3.47 mg/L이었다. 2021년 3월 15일 상류와 하류 지점에서 4.46 mg/L의 동일한 최고치를 보였으며, 2020년 9월 11일 상류와 하류 지점에서 각각 2.27 mg/L, 2.26 mg/L의 최저치를 보였다. 사연1낙차공 지점에서 상류와 하류 지점의 총 질소 평균 농도는 3.58 mg/L로 동일하였다. 2021년 3월 15일 상류와 하류 지점에서 4.40 mg/L의 동일한 최고치를 보였으며, 2021년 6월 6일 상류와 하류 지점에서 각각 2.60 mg/L, 2.57 mg/L의 최저치를 보였다. 망성보 지점에서 상류 지점의 총 질소 평균 농도는 3.18 mg/L이었고, 하류 지점의 총 질소 평균 농도는 3.19 mg/L이었다. 2021년 3월 15일 상류와 하류 지점에서 각각 4.28 mg/L, 4.27 mg/L의 최고치를 보였으며, 2020년 9월 11일 상류와 하류 지점에서 각각 2.09 mg/L, 2.06 mg/L의 최저치를 보였다. 입암낙차공 지점에서 상류와 하류 지점의 총 질소 평균 농도는 3.05 mg/L로 동일하였다. 2021년 3월 15일 상류와 하류 지점에서 각각 4.13 mg/L, 4.12 mg/L의 최고치를 보였으며, 2020년 9월 11일 상류와 하류 지점에서 각각 2.17 mg/L, 2.14 mg/L의 최저치를 보였다(Figure 6, Table 1).

1.6 질산성 질소(Nitrate Nitrogen, NO₃-N)

질산성 질소는 조사 기간 중 2020년 7월 30~31일부터 2021년 6월 6일까지 측정을 실시하였다. 강정보 지점에서 상류 지점의 질산성 질소 평균 농도는 3.04 mg/L이었고, 하류 지점의 질산성 질소 평균 농도는 3.02 mg/L이었다. 2021년 3월 15일 상류와 하류 지점에서 각각 4.26 mg/L, 4.20 mg/L의 최고치를 보였으며, 2020년 11월 6일 상류와 하류 지점에서 각각 2.14 mg/L, 2.06 mg/L의 최저치를 보였다. 사연2낙차공 지점에서 상류와 하류 지점의 질산성 질소 평균 농도는 2.97 mg/L로 동일하였다. 2021년 3월 1일 상류와 하류 지점에서 각각 4.21 mg/L, 4.15 mg/L의 최고치를 보였으며, 2020년 9월 11일 상류와 하류 지점에서 각각 1.95 mg/L, 1.92 mg/L의 최저치를 보였다. 사연1낙차공 지점에서 상류 지점의 질산성 질소 평균 농도는 3.15 mg/L이었고, 하류 지점의 질산성 질소 평균 농도는 3.13 mg/L이었다. 2021년 2월 2일 상류와 하류 지점에서 각각 4.12 mg/L, 4.00 mg/L의 최고치를 보였으며, 2021년 6월 6일 상류와 하류 지점에서 각각 2.15 mg/L, 2.13 mg/L의 최저치를 보였다. 망성보 지점에서 상류와 하류 지점의 질산성 질소 평균 농도는 2.66 mg/L로 동일하였다. 2021년 3월 15일 상류와 하류 지점에서 3.90 mg/L의 동일한 최고치를 보였으며, 2020년 9월 11일 상류와 하류 지점에서 각각 1.65 mg/L, 1.60 mg/L의 최저치를 보였다. 입암낙차공 지점에서 상류 지점의 질산성 질소 평균 농도는 2.58 mg/L이었고, 하류 지점의 질산성 질소 평균 농도는 2.57 mg/L이었다. 2021년 1월 18일 상류와 하류 지점에서 각각 3.81 mg/L, 3.77 mg/L의 최고치를 보였으며, 2020년 10월 22일 상류와 하류 지점에서 1.60 mg/L의 동일한 최저치를 보였다(Figure 7, Table 1).

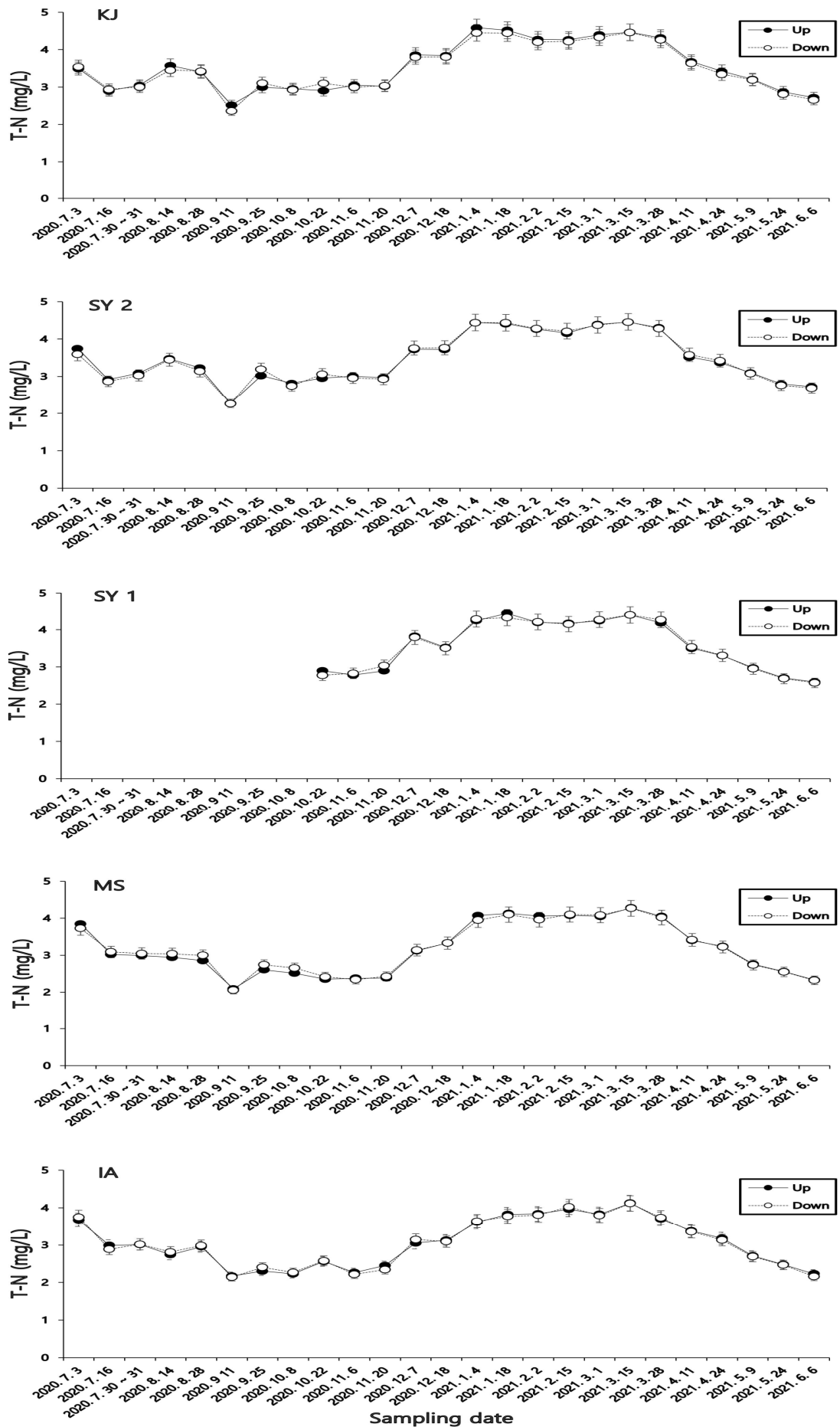


Figure 6. Total Nitrogen(T-N) measured upstream and downstream of submerged weir at five sampling locations in midstream of the Taewha River

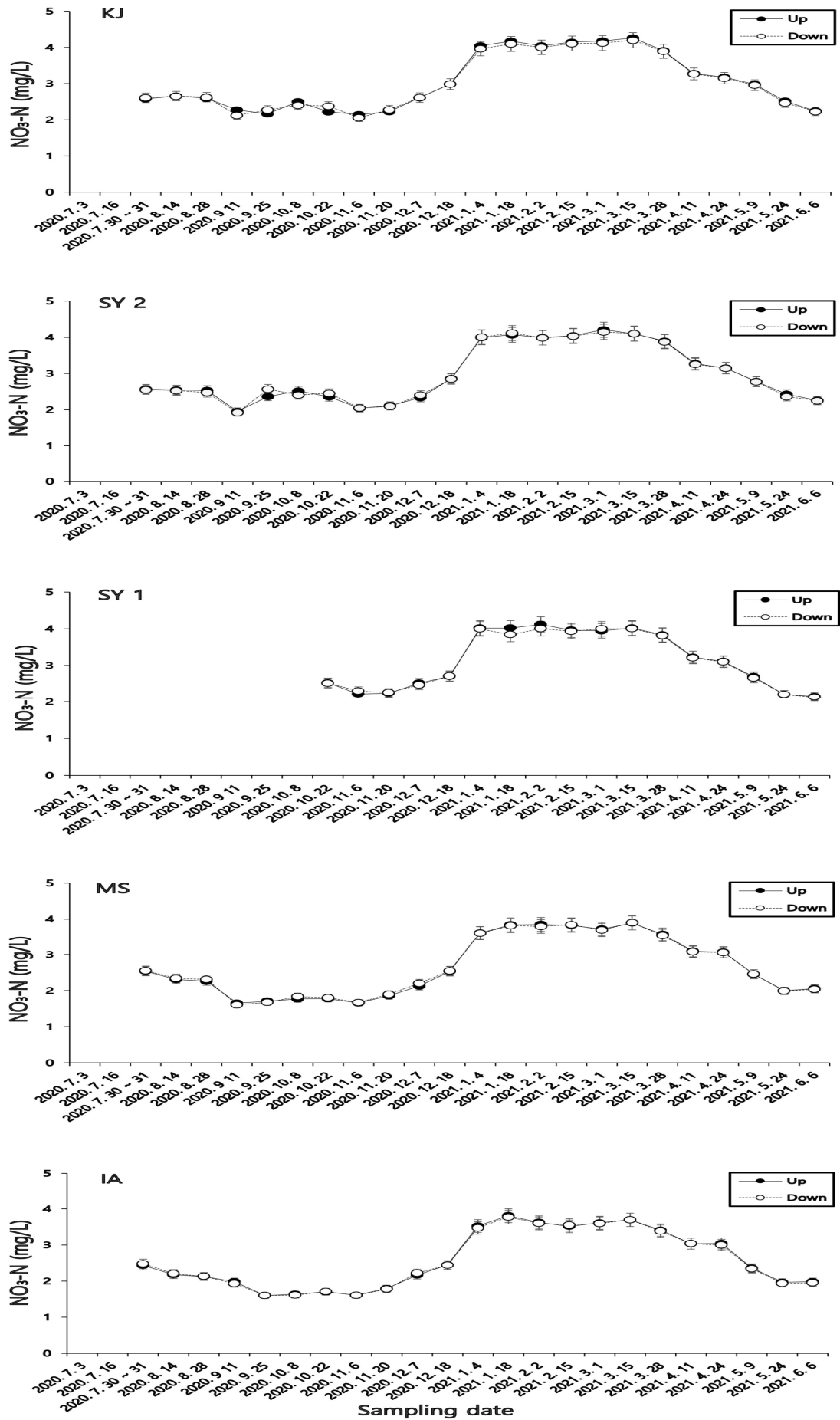


Figure 7. Nitrate Nitrogen($\text{NO}_3\text{-N}$) measured upstream and downstream of submerged weir at five sampling locations in midstream of the Taewha River

1.7 암모니아성 질소(Ammonia Nitrogen, $\text{NH}_3\text{-N}$)

암모니아성 질소는 조사 기간 중 2020년 7월 3일부터 2021년 6월 6일까지 측정을 실시하였다. 강정보 지점에서 상류 지점의 암모니아성 질소 평균 농도는 0.08 mg/L이었고, 하류 지점의 암모니아성 질소 평균 농도는 0.07 mg/L이었다. 2020년 12월 18일 상류와 하류 지점에서 각각 0.12 mg/L, 0.11 mg/L의 최고치를 보였으며, 2020년 10월 8일 상류와 하류 지점에서 0.03 mg/L의 동일한 최저치를 보였다. 사연2낙차공 지점에서 상류와 하류 지점의 암모니아성 질소 평균 농도는 0.07 mg/L로 동일하였다. 2020년 12월 18일 상류와 하류 지점에서 각각 0.12 mg/L, 0.11 mg/L의 최고치를 보였으며, 2020년 10월 8일 상류와 하류 지점에서 0.01 mg/L의 동일한 최저치를 보였다. 사연1낙차공 지점에서 상류와 하류 지점의 암모니아성 질소 평균 농도는 0.06 mg/L로 동일하였다. 2021년 1월 18일 상류와 하류 지점에서 각각 0.12 mg/L, 0.11 mg/L의 최고치를 보였으며, 2021년 6월 6일 상류와 하류 지점에서 0.02 mg/L의 동일한 최저치를 보였다. 망성보 지점에서 상류와 하류 지점의 암모니아성 질소 평균 농도는 0.03 mg/L로 동일하였다. 2020년 8월 28일 상류와 하류 지점에서 0.07 mg/L의 동일한 최고치를 보였으며, 2021년 6월 6일 상류와 하류 지점에서 0.01 mg/L의 동일한 최저치를 보였다. 입암낙차공 지점에서 상류와 하류 지점의 암모니아성 질소 평균 농도는 0.03 mg/L로 동일하였다. 2020년 7월 3일 상류와 하류 지점에서 각각 0.07 mg/L, 0.06 mg/L의 최고치를 보였으며, 2020년 10월 8일 상류와 하류 지점에서 0.01 mg/L의 동일한 최저치를 보였다(Figure 8, Table 1).

1.8 총 인(Total Phosphorus, T-P)

총 인은 조사 기간 중 2020년 7월 3일부터 2021년 6월 6일까지 측정을 실시하였다. 강정보 지점에서 상류 지점의 총 인 평균 농도는 0.10 mg/L이었고, 하류 지점의 총인 평균 농도는 0.09 mg/L이었다. 2021년 5월 9일 상류와 하류 지점에서 각각 0.16 mg/L, 0.15 mg/L의 최고치를 보였으며, 2020년 7월 30~31일 상류와 하류 지점에서 각각 0.04 mg/L, 0.05 mg/L의 최저치를 보였다. 사연2낙차공 지점에서 상류와 하류 지점의 총 인 평균 농도는 0.09 mg/L로 동일하였다. 2021년 5월 9일 상류와 하류 지점에서 0.14 mg/L의 동일한 최고치를 보였으며, 2021년 2월 15일 상류와 하류 지점에서 각각 0.04 mg/L, 0.03 mg/L의 최저치를 보였다. 사연1낙차공 지점에서 상류와 하류 지점의 총 인 평균 농도는 0.08 mg/L로 동일하였다. 2021년 5월 9일 상류와 하류 지점에서 0.11 mg/L의 동일한 최고치를 보였으며, 2021년 2월 15일 상류와 하류 지점에서 각각 0.04 mg/L, 0.05 mg/L의 최저치를 보였다. 망성보 지점에서 상류와 하류 지점의 총 인 평균 농도는 0.06 mg/L로 동일하였다. 2020년 8월 28일 상류와 하류 지점에서 각각 0.12 mg/L, 0.10 mg/L의 최고치를 보였으며, 2021년 4월 24일 상류와 하류 지점에서 0.03 mg/L의 동일한 최저치를 보였다. 입암낙차공 지점에서 상류와 하류 지점의 총 인 평균 농도는 0.05 mg/L로 동일하였다. 2020년 9월 11일 상류와 하류 지점에서 각각 0.11 mg/L, 0.13 mg/L의 최고치를 보였으며, 2021년 2월 15일 상류와 하류 지점에서 0.02 mg/L의 동일한 최저치를 보였다(Figure 9, Table 1).

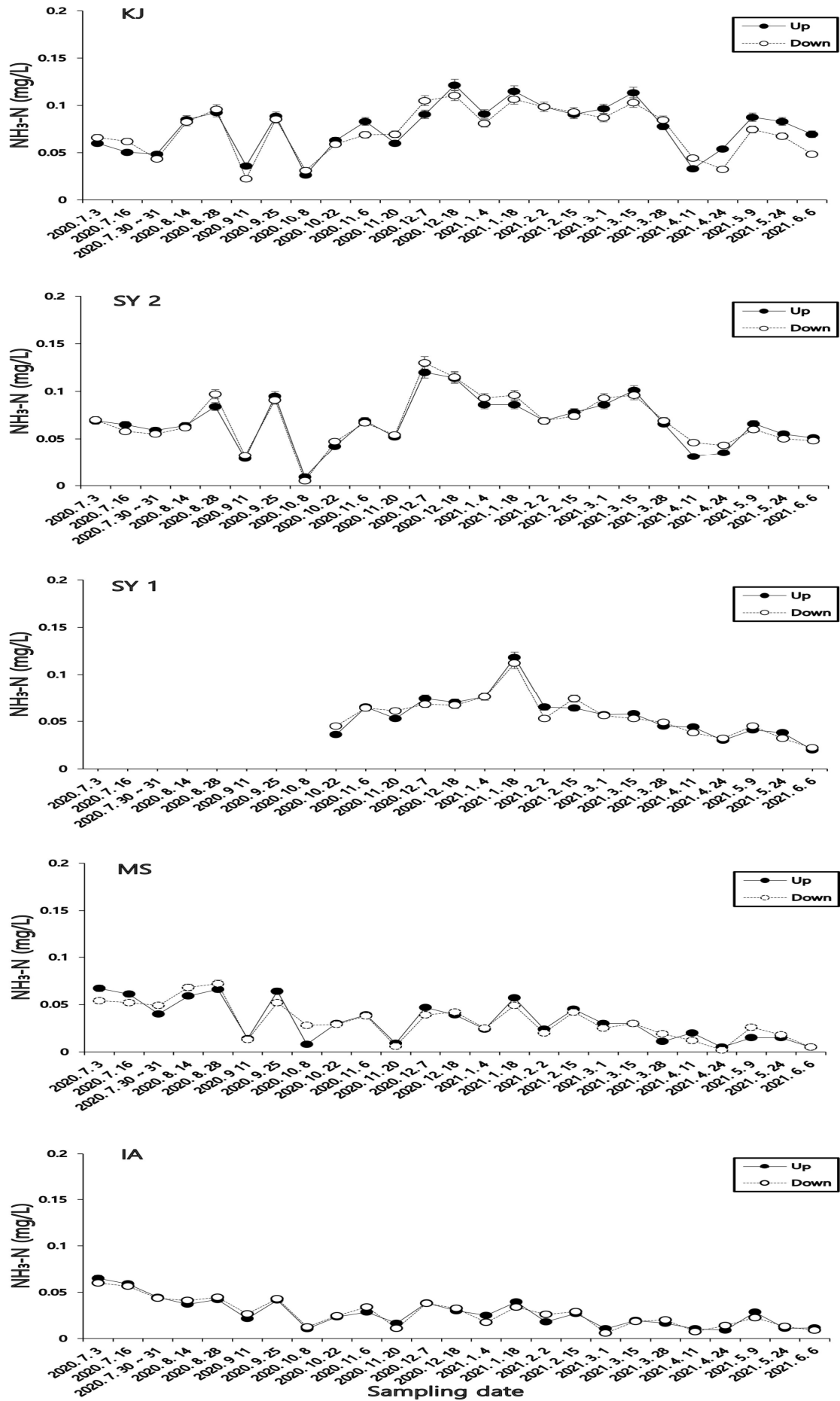


Figure 8. Ammonia Nitrogen(NH₃-N) measured upstream and downstream of submerged weir at five sampling locations in midstream of the Taewha River

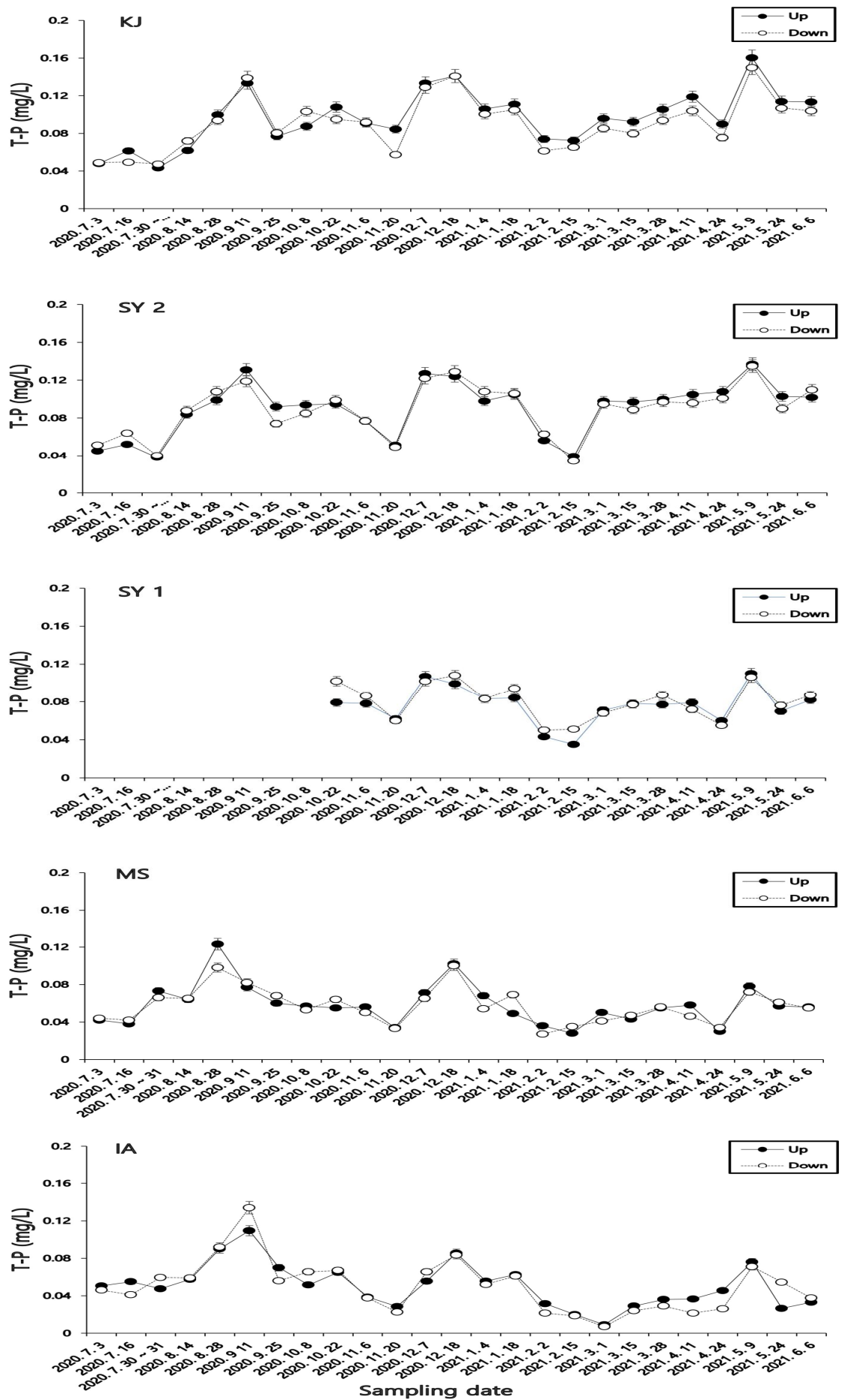


Figure 9. Total Phosphorus(T-P) measured upstream and downstream of submerged weir at five sampling locations in midstream of the Taewha River

1.9 인산염 인(Phosphate Phosphorus, PO₄³⁻-P)

인산염 인은 조사 기간 중 2020년 7월 3일부터 2021년 6월 6일까지 측정을 실시하였다. 강정보 지점에서 상류와 하류 지점의 인산염 인 평균 농도는 0.07 mg/L로 동일하였다. 2020년 12월 7일 상류와 하류 지점에서 각각 0.12 mg/L, 0.11 mg/L의 최고치를 보였으며, 2020년 7월 30~31일 상류와 하류 지점에서 0.01 mg/L의 동일한 최저치를 보였다. 사연2낙차공 지점에서 상류와 하류 지점의 인산염 인 평균 농도는 0.07 mg/L로 동일하였다. 2021년 5월 9일 상류와 하류 지점에서 0.11 mg/L의 동일한 최고치를 보였으며, 2020년 7월 16일 상류와 하류 지점에서 0.01 mg/L의 동일한 최저치를 보였다. 사연1낙차공 지점에서 상류와 하류 지점의 인산염 인 평균 농도는 0.06 mg/L로 동일하였다. 2020년 12월 18일 상류와 하류 지점에서 0.10 mg/L의 동일한 최고치를 보였으며, 2021년 2월 15일 상류와 하류 지점에서 각각 0.03 mg/L, 0.04 mg/L의 최저치를 보였다. 망성보 지점에서 상류와 하류 지점의 인산염 인 평균 농도는 0.04 mg/L로 동일하였다. 2020년 12월 18일 상류와 하류 지점에서 각각 0.09 mg/L, 0.08 mg/L의 최고치를 보였으며, 2020년 7월 16일 상류와 하류 지점에서 0.01 mg/L의 동일한 최저치를 보였다. 입암낙차공 지점에서 상류와 하류 지점의 인산염 인 평균 농도는 0.03 mg/L로 동일하였다. 2020년 8월 28일 상류와 하류 지점에서 0.06 mg/L의 동일한 최고치를 보였으며, 2021년 3월 1일 상류와 하류 지점에서 0.01 mg/L의 동일한 최저치를 보였다(Figure 10, Table 1).

1.10 엽록소 a(Chlorophyll a)

엽록소 a는 조사 기간 중 2020년 7월 3일부터 2021년 6월 6일까지 측정을 실시하였다. 강정보 지점에서 상류 지점의 엽록소 a 평균 농도는 4.50 mg/m³이었고, 하류 지점의 엽록소 a 평균 농도 3.37 mg/m³이었다. 2020년 8월 28일 상류 지점에서 8.87 mg/m³과 2020년 9월 25일 하류 지점에서 7.68 mg/m³의 최고치를 보였으며, 2021년 1월 18일 상류 지점에서 2.20 mg/m³과 2021년 5월 9일 하류 지점에서 0.40 mg/m³의 최저치를 보였다. 사연2낙차공 지점에서 상류 지점의 엽록소 a 평균 농도는 4.22 mg/m³이었고, 하류 지점의 엽록소 a 평균 농도는 4.23 mg/m³이었다. 2020년 8월 28일 상류 지점에서 11.26 mg/m³과 2020년 9월 25일 하류 지점에서 10.96 mg/m³의 최고치를 보였으며, 2021년 2월 2일 상류 지점에서 1.58 mg/m³과 2021년 4월 24일 하류 지점에서 0.82 mg/m³의 최저치를 보였다. 사연1낙차공 지점에서 상류 지점의 엽록소 a 평균 농도는 2.40 mg/m³이었고, 하류 지점의 엽록소 a 평균 농도는 2.82 mg/m³이었다. 2020년 11월 20일 상류 지점에서 5.93 mg/m³과 2020년 12월 18일 하류 지점에서 6.58 mg/m³의 최고치를 보였으며, 2021년 6월 6일 상류 지점에서 0.70 mg/m³과 2021년 4월 24일 하류 지점에서 0.05 mg/m³의 최저치를 보였다. 망성보 지점에서 상류 지점의 엽록소 a 평균 농도는 4.22 mg/L이었고, 하류 지점의 엽록소 a 평균 농도는 4.19 mg/m³이었다. 2020년 8월 28일 상류와 하류 지점에서 각각 14.53 mg/m³, 14.70 mg/m³의 최고치를 보였으며, 2021년 2월 2일 상류 지점에서 1.07 mg/m³과 2021년 4월 24일 하류 지점에서 1.19 mg/m³의 최저치를 보였다. 입암낙차공 지점에서 상류 지점의 엽록소 a 평균 농도는 3.60 mg/m³이었고, 하류 지점의 엽록소 a 평균 농도는 3.08 mg/m³이었다. 2020년 8월 28일 상류와 하류 지점에서 각각 11.63 mg/m³, 10.39 mg/m³의 최고치를 보였으며, 2021년 4월 24일 상류 지점에서 1.02 mg/m³과 2021년 2월 2일 하류 지점에서 0.85 mg/m³의 최저치를 보였다(Figure 11, Table 1).

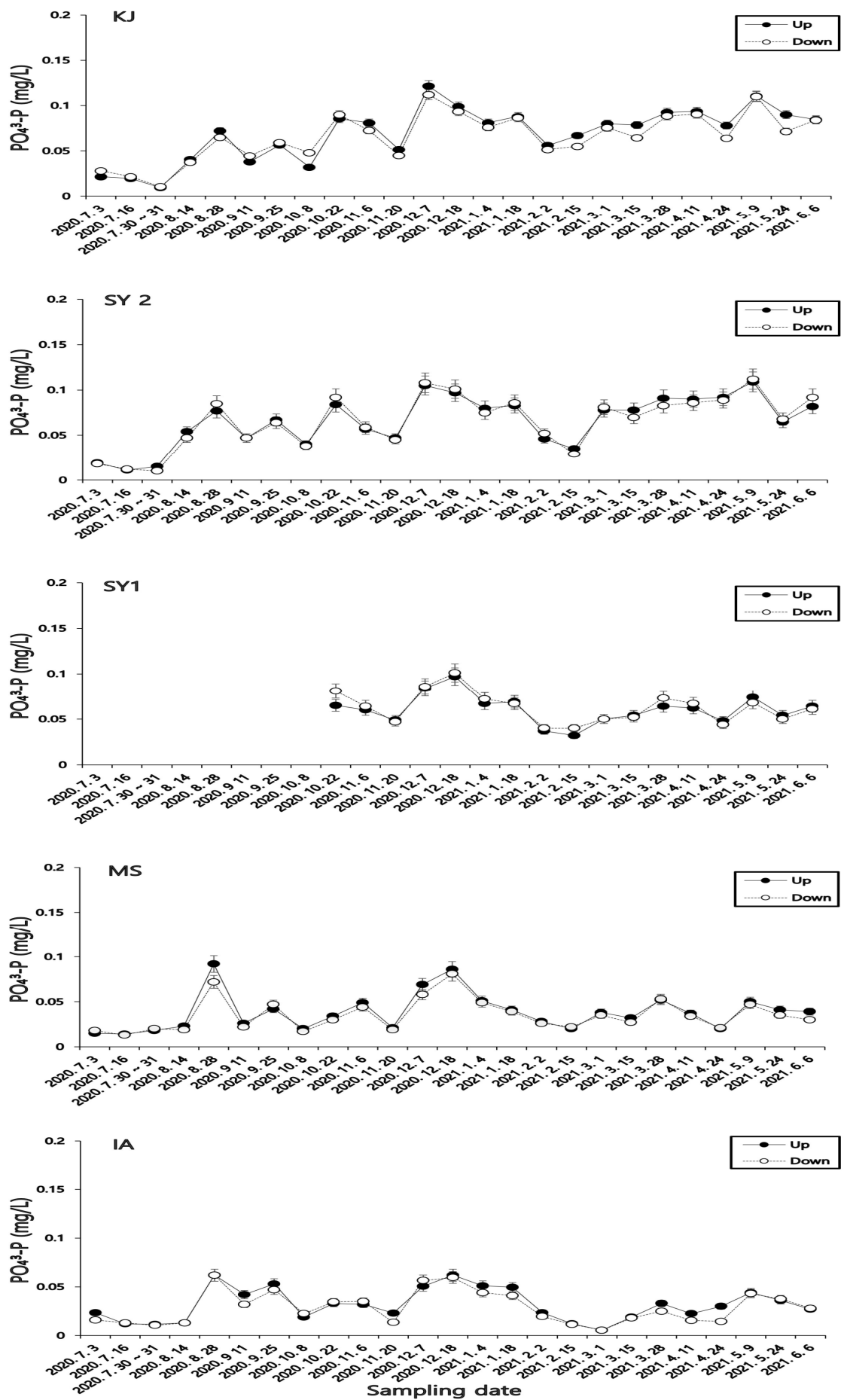


Figure 10. Phosphate Phosphorus($PO_4^{3-}\text{-P}$) measured upstream and downstream of submerged weir at five sampling locations in midstream of the Taewha River

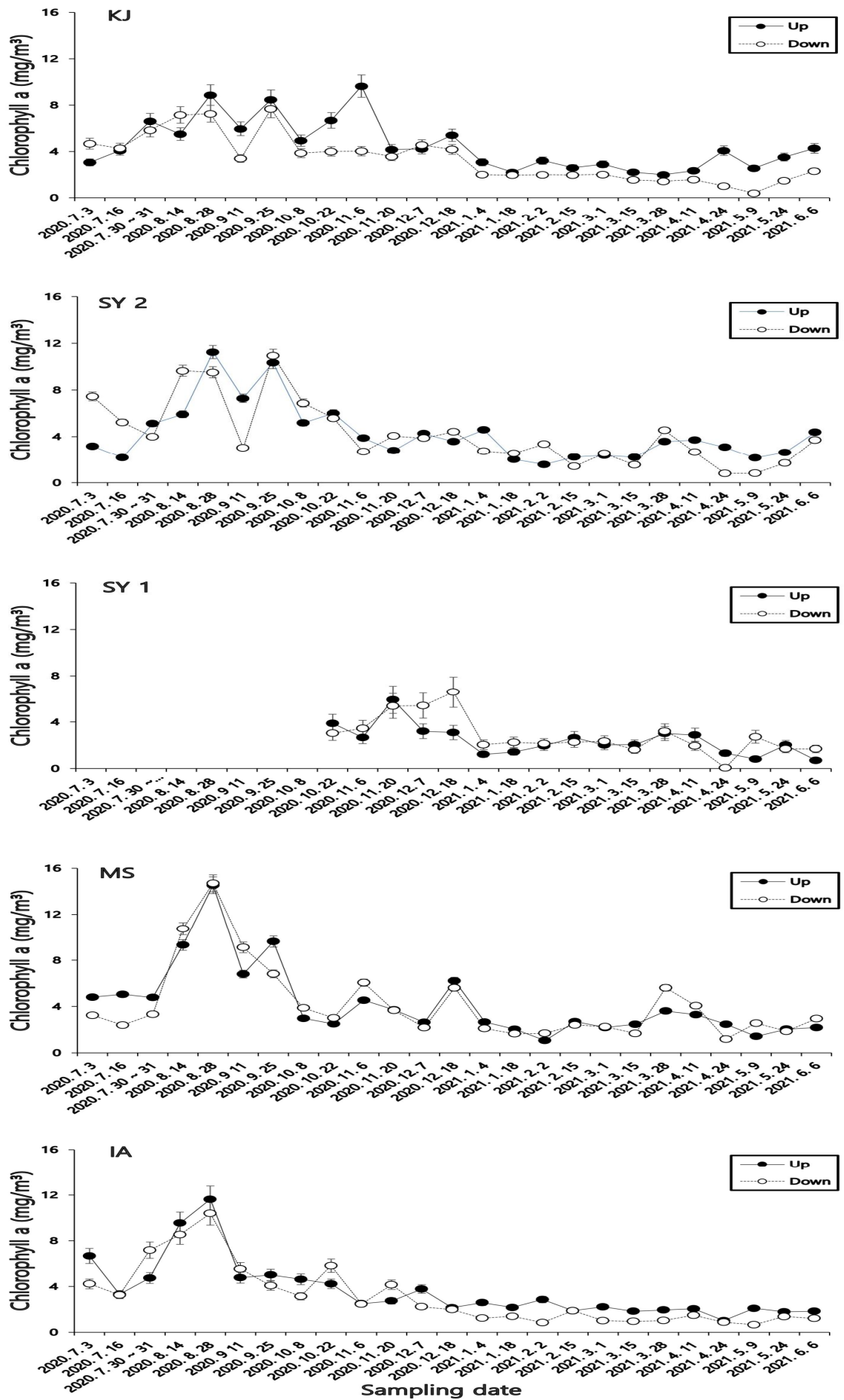


Figure 11. Chlorophyll *a* measured upstream and downstream of submerged weir at five sampling locations in midstream of the Taewha River

1.11 부유물질(Suspended Solid, SS)

부유물질은 조사 기간 중 2020년 7월 3일부터 2021년 6월 6일까지 측정을 실시하였다. 강 정보 지점에서 상류 지점의 부유물질 평균 농도는 3.92 mg/L이었고, 하류 지점의 부유물질 평균 농도는 2.70 mg/L이었다. 2020년 10월 8일 11월 6일 상류 지점에서 6.50 mg/L과 2020년 10월 22일 하류 지점에서 5.50 mg/L의 최고치를 보였으며, 2021년 3월 1일 상류와 하류 지점에서 각각 2.00 mg/L, 1.00 mg/L의 최저치를 보였다. 사연2낙차공 지점에서 상류 지점의 부유물질 평균 농도는 4.00 mg/L이었고, 하류 지점의 부유물질 평균 농도는 3.08 mg/L이었다. 2020년 10월 22일, 2021년 2월 15일 상류 지점에서 7.00 mg/L과 2020년 9월 25일 하류 지점에서 10.00 mg/L의 최고치를 보였으며, 2021년 5월 9일 상류와 하류 지점에서 각각 2.00 mg/L, 1.00 mg/L의 최저치를 보였다. 사연1낙차공 지점에서 상류 지점의 부유물질 평균 농도는 3.12 mg/L이었고, 하류 지점의 부유물질 평균 농도는 1.94 mg/L이었다. 2020년 10월 22일 상류와 하류 지점에서 5.00 mg/L의 동일한 최고치를 보였으며, 2021년 1월 8일, 3월 1일, 4월 24일 상류와 하류 지점에서 각각 2.00 mg/L, 1.00 mg/L의 최저치를 보였다. 망성보 지점에서 상류 지점의 부유물질 평균 농도는 3.68 mg/L이었고, 하류 지점의 부유물질 평균 농도는 2.88 mg/L이었다. 2020년 8월 28일 상류와 하류 지점에서 각각 9.00 mg/L, 7.00 mg/L의 최고치를 보였으며, 2021년 1월 4일 상류와 하류 지점에서 1.00 mg/L의 동일한 최저치를 보였다. 입암낙차공 지점에서 상류 지점의 부유물질 평균 농도는 3.30 mg/L이었고, 하류 지점의 부유물질 평균 농도는 2.18 mg/L이었다. 2020년 8월 28일 상류와 하류 지점에서 각각 7.00 mg/L, 6.50 mg/L의 최고치를 보였으며, 2021년 1월 4일, 4월 24일 상류와 하류 지점에서 각각 2.00 mg/L, 1.00 mg/L의 최저치를 보였다(Figure 12, Table 1).

2. 상관관계 분석 결과

2.1 강정보 측정값 비교

강정보 지점에서 상류와 하류 지점 사이의 수중보가 물리·화학적 요인으로 작용하는 지에 대해서 Pearson 상관관계를 이용하였고, 상류와 하류 지점에서 동일한 측정항목의 상관관계수(r)에는 밑줄로 표시를 하였다(Table 2). 수온 1.000($P \leq 0.01$), 수소이온농도 0.928($P \leq 0.01$), 용존산소량 0.993 ($P \leq 0.01$), 화학적 산소요구량 0.785 ($P \leq 0.01$), 총 질소 0.994 ($P \leq 0.01$), 질산성 질소 0.997 ($P \leq 0.01$), 암모니아성 질소 0.919 ($P \leq 0.01$), 총 인 0.948 ($P \leq 0.01$), 인산염 인 0.970 ($P \leq 0.01$), 엽록소 a 0.754 ($P \leq 0.01$), 부유물질 0.585 ($P \leq 0.01$)로 상류와 하류 지점 사이에 모두 유의한 양의 상관관계가 있었다. 부유물질은 상관관계수 0.3 이상의 보통으로 상관관계를 보였으며, 수온, 수소이온농도, 용존산소량, 화학적 산소요구량, 총 질소, 질산성 질소, 암모니아성 질소, 총 인, 인산염 인, 엽록소 a 의 경우 상관관계수 0.7 이상으로 강한 상관관계를 보였다. 수온은 0.01 수준에서 용존산소량, 총 질소, 질산성 질소, 암모니아성 질소와 음의 상관관계를 보였으며, 0.05 수준에서 인산염 인과 음의 상관관계를 보이며, 엽록소 a 와 부유물질은 양의 상관관계를 보였다. 용존산소량은 0.01 수준에서 총 질소, 질산성 질소, 암모니아성 질소와 양의 상관관계를 보였으며, 엽록소 a 와 부유물질과는 음의 상관관계를 보였다. 화학적 산소요구량은 0.05 수준에서 인산염 인과 음의 상관관계, 엽록소 a 와는 양의 상관관계를 보였다. 총 질소는 0.01 수준에서 질산성 질소, 암모니아성 질소에서 양의 상관관계, 엽록소 a 는 음의 상관관계를 보였으며, 0.05 수준에서는 부유물질과 음의 상관관계를 보였다. 질산성 질소는 0.01 수준에서 엽록소 a , 부유물질과 음의 상관관계를 보였고, 0.01 수준에서 암모니아성 질소와 양의 상관관계를 보였다. 암모니아성 질소는 0.05 수준에서 인산염 인과

양의 상관관계를 보였다. 총 인은 0.01 수준에서 인산염 인과 양의 상관관계를 보였다. 엽록소 *a*는 0.01 수준에서 부유물질과 양의 상관관계를 보였다.

2.2 사연2낙차공 측정값 비교

사연2낙차공 지점에서 상류와 하류 지점 사이의 수중보가 물리·화학적 요인으로 작용하는 지에 대해서 Pearson 상관관계를 이용하였고, 상류와 하류 지점에서 동일한 측정항목의 상관계수(*r*)에는 밑줄로 표시를 하였다(Table 3). 수온 1.000($P \leq 0.01$), 수소이온농도 0.904($P \leq 0.01$), 용존산소량 0.986 ($P \leq 0.01$), 화학적 산소요구량 0.846 ($P \leq 0.01$), 총 질소 0.995 ($P \leq 0.01$), 질산성 질소 0.997 ($P \leq 0.01$), 암모니아성 질소 0.974 ($P \leq 0.01$), 총 인 0.961 ($P \leq 0.01$), 인산염 인 0.985 ($P \leq 0.01$), 엽록소 *a* 0.732 ($P \leq 0.01$), 부유물질 0.525 ($P \leq 0.01$)로 상류와 하류 지점 사이에 모두 유의한 양의 상관관계가 있었다. 부유물질은 상관계수 0.3 이상으로 보통의 상관관계를 보였으며, 수온, 수소이온농도, 용존산소량, 화학적 산소요구량, 총 질소, 질산성 질소, 암모니아성 질소, 총 인, 인산염 인, 엽록소 *a*의 경우 상관계수 0.7 이상으로 강한 상관관계를 보였다. 수온은 0.01 수준에서 용존산소량, 총 질소, 질산성 질소, 암모니아성 질소와 음의 상관관계를 보였으며, 엽록소 *a*와는 양의 상관관계를 보였다. 수소이온농도는 0.05 수준에서 인산염인과 양의 상관관계를 보였다. 용존산소량은 0.01 수준에서 총 질소, 질산성 질소, 암모니아성 질소와 양의 상관관계를 보였으며, 엽록소 *a*와는 음의 상관관계를 보였다. 화학적 산소요구량은 0.05 수준에서 총 질소와 질산성 질소와 음의 상관관계를 보였다. 총 질소는 0.01 수준에서 질산성 질소, 암모니아성 질소에서 양의 상관관계를 보였으며, 0.05 수준에서 엽록소 *a*는 음의 상관관계를 보였다. 총 인은 0.01 수준에서 인산염 인과 양의 상관관계를 보였다. 엽록소 *a*는 0.05 수준에서 부유물질과 양의 상관관계를 보였다.

2.3 사연1낙차공 측정값 비교

사연1낙차공 지점에서 상류와 하류 지점 사이의 수중보가 물리·화학적 요인으로 작용하는 지에 대해서 Pearson 상관관계를 이용하였고, 상류와 하류 지점에서 동일한 측정항목의 상관계수(*r*)에는 밑줄로 표시를 하였다(Table 4). 수온 0.999($P \leq 0.01$), 수소이온농도 0.900($P \leq 0.01$), 용존산소량 0.996 ($P \leq 0.01$), 화학적 산소요구량 0.686 ($P \leq 0.01$), 총 질소 0.996 ($P \leq 0.01$), 질산성 질소 0.998 ($P \leq 0.01$), 암모니아성 질소 0.963 ($P \leq 0.01$), 총 인 0.907 ($P \leq 0.01$), 인산염 인 0.943 ($P \leq 0.01$), 엽록소 *a* 0.655 ($P \leq 0.01$)로 상류와 하류 지점 사이에 유의한 양의 상관관계가 있었고, 부유물질의 경우 상류와 하류 지점 사이에 유의한 상관관계가 없었다. 화학적 산소요구량과 엽록소 *a*는 상관계수 0.3 이상으로 보통의 상관관계를 보였으며, 수온, 수소이온농도, 용존산소량, 총 질소, 질산성 질소, 암모니아성 질소, 총 인, 인산염 인의 경우 상관계수 0.9 이상으로 강한 상관관계를 보였다. 수온은 0.01 수준에서 용존산소량, 총 질소, 질산성 질소, 암모니아성 질소와 음의 상관관계를 보였으며, 0.05 수준에서 수소이온농도와 양의 상관관계를 보였다. 수소이온농도는 0.05 수준에서 용존산소량, 암모니아성 질소와 음의 상관관계를 보였다. 용존산소량은 0.01 수준에서 총 질소, 질산성 질소와 양의 상관관계를 보였으며, 0.05 수준에서 암모니아성 질소와 양의 상관관계를 보였다. 총 질소는 0.01 수준에서 질산성 질소, 암모니아성 질소에서 양의 상관관계를 보였다. 총 인은 0.01 수준에서 인산염 인과 양의 상관관계를 보였다. 엽록소 *a*는 0.05 수준에서 부유물질과 양의 상관관계를 보였다.

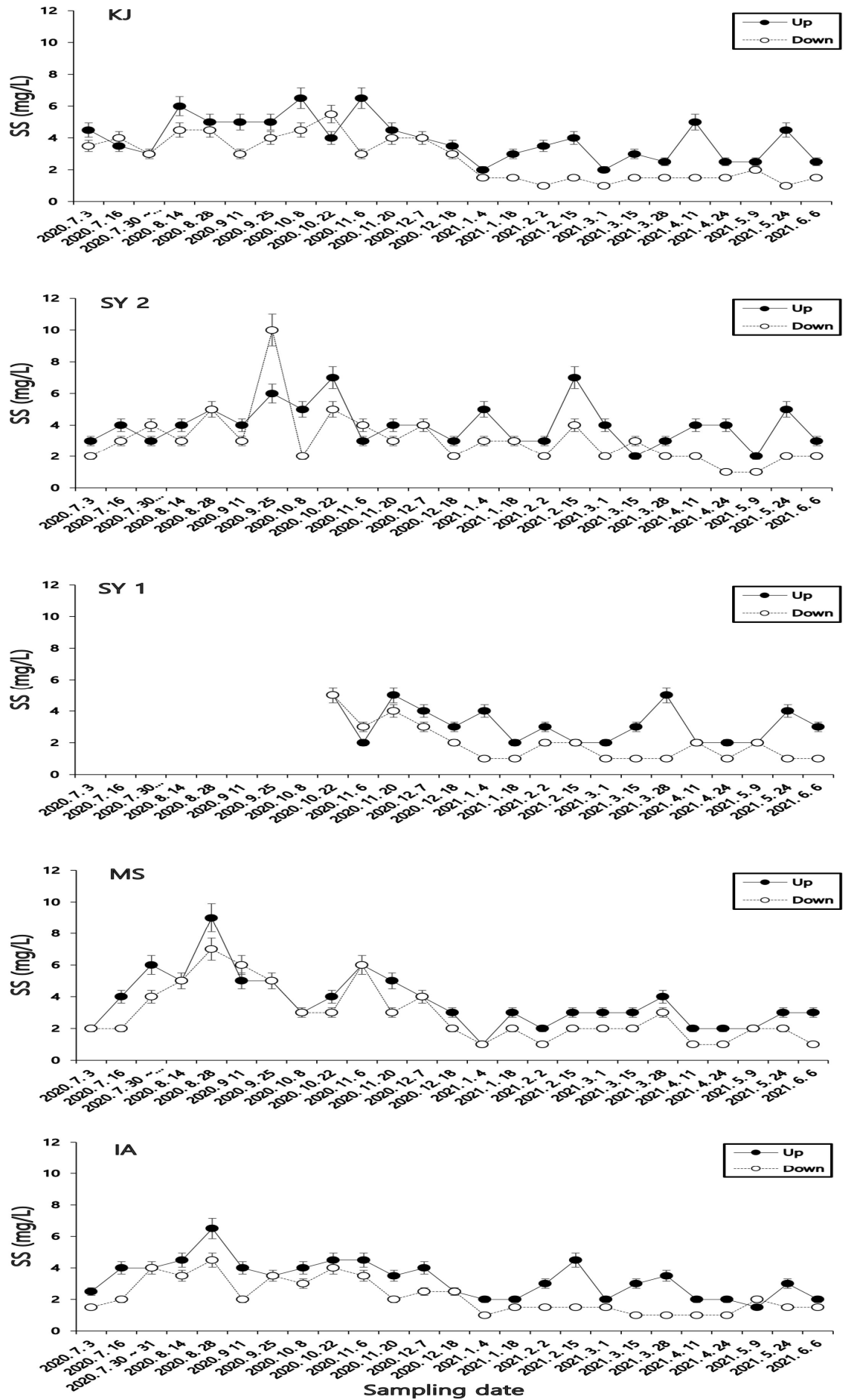


Figure 12. Suspended Solid(SS) measured upstream and downstream of submerged weir at five sampling locations in midstream of the Taewha River

Parameters	Location	Average (Max./Min.)				
		KJ	SY2	SY1	MS	IA
T-N (mg/L)	Up	3.54 (4.47/2.52)	3.48 (4.46/2.27)	3.58 (4.44/2.6)	3.18 (4.28/2.09)	3.05 (4.13/2.17)
	Down	3.51 (4.46/2.36)	3.47 (4.46/2.26)	3.58 (4.44/2.57)	3.19 (4.27/2.06)	3.05 (4.12/2.14)
NO ₃ -N (mg/L)	Up	3.04 (4.26/2.14)	2.97 (4.21/1.95)	3.15 (4.12/2.15)	2.66 (3.90/1.65)	2.58 (3.81/1.60)
	Down	3.02 (4.20/2.06)	2.97 (4.15/1.92)	3.13 (4.00/2.13)	2.66 (3.90/1.60)	2.57 (3.77/1.60)
NH ₃ -N (mg/L)	Up	0.08 (0.12/0.03)	0.07 (0.12/0.01)	0.06 (0.12/0.02)	0.03 (0.07/0.01)	0.03 (0.07/0.01)
	Down	0.07 (0.11/0.05)	0.07 (0.11/0.01)	0.06 (0.11/0.02)	0.03 (0.07/0.01)	0.03 (0.06/0.01)
T-P (mg/L)	Up	0.10 (0.16/0.04)	0.09 (0.14/0.04)	0.08 (0.11/0.04)	0.05 (0.12/0.03)	0.05 (0.11/0.01)
	Down	0.09 (0.15/0.05)	0.09 (0.14/0.03)	0.08 (0.11/0.05)	0.06 (0.10/0.03)	0.05 (0.13/0.01)
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	Up	0.07 (0.12/0.01)	0.07 (0.11/0.01)	0.06 (0.1/0.03)	0.04 (0.09/0.01)	0.03 (0.06/0.01)
	Down	0.07 (0.11/0.01)	0.07 (0.11/0.01)	0.06 (0.1/0.04)	0.04 (0.08/0.01)	0.03 (0.06/0.01)
Chl- <i>a</i> (mg/m ³)	Up	4.50 (8.87/2.20)	4.22 (11.26/1.58)	2.40 (5.93/0.70)	4.22 (14.53/1.07)	3.60 (11.63/1.02)
	Down	3.37 (7.68/0.40)	4.23 (10.96/0.82)	2.82 (6.58/0.05)	4.19 (14.70/1.19)	3.08 (10.39/0.85)
SS (mg/L)	Up	3.92 (6.50/2.00)	4.00 (7.00/2.00)	3.12 (5.00/2.00)	3.68 (9.00/1.00)	3.30 (7.00/2.00)
	Down	2.70 (5.50/1.00)	3.08 (10.00/1.00)	1.94 (5.00/1.00)	2.88 (7.00/1.00)	2.18 (6.50/1.00)
Water Temperature (°C)	Up	15.41 (27.35/3.70)	15.37 (27.00/3.60)	12.13 (21.30/3.80)	15.43 (28.10/3.70)	15.46 (26.90/3.35)
	Down	15.28 (26.90/3.55)	15.40 (27.00/3.70)	12.08 (21.20/3.90)	15.43 (26.50/3.70)	15.75 (26.70/3.80)
pH	Up	7.74	7.81	7.79	7.76	7.63

(mg/L)		(8.16/7.29)	(8.11/7.34)	(8.15/7.27)	(8.06/7.36)	(8.19/7.23)
	Down	7.75 (8.22/7.31)	7.81 (8.13/7.42)	7.84 (8.12/7.36)	7.76 (8.21/7.21)	7.67 (8.08/7.30)
DO (mg/L)	Up	10.06 (14.17/6.73)	10.24 (14.20/6.80)	10.60 (14.22/7.12)	10.06 (13.50/6.81)	10.11 (14.74/6.62)
	Down	9.88 (13.80/6.88)	9.97 (14.22/6.74)	9.97 (14.07/7.11)	10.09 (13.82/7.10)	10.02 (14.43/6.71)
COD (mg/L)	Up	3.68 (6.50/2.50)	4.35 (7.00/3.00)	4.00 (8.00/3.00)	3.47 (5.00/3.00)	3.38 (5.50/1.50)
	Down	3.15 (5.00/1.50)	3.12 (5.00/2.00)	2.59 (5.00/1.00)	2.29 (6.00/1.00)	2.85 (5.50/1.50)

Table 1. Average, maximum and minimum of water quality measurements at five sampling locations in midstream of the Taewha River.

		UWT	DWT	UpH	DpH	UDO	DDO	UCOD	DCOD	UTN	DTN	UNO ₃	DNO ₃	UNH ₃	DNH ₃	UTP	DTP	UPO ₄ ³⁻	DPO ₄ ³⁻	UChla	DChla	USS	DSS
UWT	r	1	<u>1.000</u> **	.164	.294	<u>-.778</u> **	<u>-.770</u> **	.140	.068	<u>-.731</u> **	<u>-.724</u> **	<u>-.667</u> **	<u>-.663</u> **	<u>-.551</u> **	<u>-.542</u> **	-.255	-.179	<u>-.469</u> *	<u>-.436</u> *	.427 *	.491 *	.420 *	.487 *
	N	25	25	22	22	22	22	17	17	25	25	23	23	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
DWT	r		1	.162	.290	<u>-.785</u> **	<u>-.776</u> **	.135	.061	<u>-.738</u> **	<u>-.729</u> **	<u>-.670</u> **	<u>-.666</u> **	<u>-.556</u> **	<u>-.548</u> **	-.258	-.183	<u>-.470</u> *	<u>-.437</u> *	.426 *	.484 *	.417 *	.481 *
	N		25	22	22	22	22	17	17	25	25	23	23	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
UpH	r			1	<u>.928</u> **	.000	-.043	-.388	-.449	.269	.273	.215	.223	.157	.204	-.095	-.001	.102	.074	-.136	.136	-.006	-.027
	N			22	22	22	22	17	17	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
DpH	r				1	-.139	-.165	-.129	-.296	.130	.155	.059	.082	.112	.185	-.111	-.030	.050	.067	.009	.299	.029	.195
	N				22	22	22	17	17	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
UDO	r					1	<u>.993</u> **	-.345	-.341	<u>.810</u> **	<u>.782</u> **	<u>.830</u> **	<u>.826</u> **	<u>.551</u> **	<u>.535</u> *	-.036	-.109	.260	.161	<u>-.693</u> **	<u>-.487</u> *	<u>-.634</u> **	<u>-.669</u> **
	N					22	22	17	17	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
DDO	r						1	-.326	-.363	<u>.789</u> **	<u>.764</u> **	<u>.820</u> **	<u>.817</u> **	<u>.555</u> **	<u>.534</u> *	-.022	-.106	.262	.164	<u>-.695</u> **	<u>-.497</u> *	<u>-.644</u> **	<u>-.678</u> **
	N						22	17	17	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
UCOD	r							1	<u>.785</u> **	-.349	-.290	-.352	-.319	-.170	-.136	-.445	-.466	<u>-.521</u> *	-.395	<u>.541</u> *	.470	.295	<u>.604</u> *
	N							17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
DCOD	r								1	-.271	-.225	-.340	-.316	-.197	-.033	-.306	-.349	-.363	-.269	<u>.499</u> *	.473	.420	<u>.616</u> **
	N								17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
UTN	r									1	<u>.994</u> **	<u>.928</u> **	<u>.934</u> **	<u>.630</u> **	<u>.687</u> **	.008	-.060	.349	.286	<u>-.563</u> **	-.354	<u>-.463</u> *	<u>-.516</u> **
	N									25	25	23	23	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
DTN	r										1	<u>.914</u> **	<u>.927</u> **	<u>.641</u> **	<u>.713</u> **	-.015	-.092	.350	.291	<u>-.544</u> **	-.325	<u>-.461</u> *	<u>-.466</u> *
	N										25	23	23	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
UNO ₃	r											1	<u>.997</u> **	<u>.477</u> *	<u>.482</u> *	-.057	-.160	.221	.149	<u>-.725</u> **	<u>-.562</u> **	<u>-.581</u> **	<u>-.690</u> **
	N											23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
DNO ₃	r												1	<u>.492</u> *	<u>.507</u> *	-.074	-.189	.232	.159	<u>-.718</u> **	<u>-.538</u> **	<u>-.598</u> **	<u>-.664</u> **
	N												23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
UNH ₃	r													1	<u>.919</u> **	.211	.173	<u>.505</u> *	<u>.417</u> *	-.104	-.059	-.336	-.295
	N													25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

DNH ₃	r														1	.101	.049	.428 *	.353	-.151	.066	-.218	-.131
	N														25	25	25	25	25	25	25	25	25
UTP	r															1	.948 **	.788 **	.843 **	-.149	-.426 *	-.195	-.200
	N														25	25	25	25	25	25	25	25	25
DTP	r																1	.666 **	.753 **	-.011	-.257	-.030	-.089
	N														25	25	25	25	25	25	25	25	25
UPO ₄ ³⁻	r																	1	.970 **	-.229	-.468 *	-.315	-.357
	N														25	25	25	25	25	25	25	25	25
DPO ₄ ³⁻	r																		1	-.204	-.431 *	-.276	-.262
	N														25	25	25	25	25	25	25	25	25
UChla	r																			1	.754 **	.563 **	.636 **
	N														25	25	25	25	25	25	25	25	25
DChla	r																				1	.548 **	.786 **
	N														25	25	25	25	25	25	25	25	25
USS	r																					1	.585 **
	N														25	25	25	25	25	25	25	25	25
DSS	r																						1
	N														25	25	25	25	25	25	25	25	25

** , 상관관계가 0.01 수준에서 유의합니다(양측).

* , 상관관계가 0.05 수준에서 유의합니다(양측).

Table 2. Significance of Pearson's correlation coefficient between upstream and downstream values of submerged weir in KJ location

		UWT	DWT	UpH	DpH	UDO	DDO	UCOD	DCOD	UTN	DTN	UNO ₃	DNO ₃	UNH ₃	DNH ₃	UTP	DTP	UPO ₄ ³⁻	DPO ₄ ³⁻	UChla	DChla	USS	DSS
UWT	r	1	<u>1.000</u> **	-.194	.052	-.794 **	-.800 **	.467	.585 *	-.716 **	-.737 **	-.643 **	-.656 **	-.513 **	-.542 **	-.088	-.112	-.319	-.297	.544 **	.532 **	.095	.164
	N	25	25	22	22	22	22	17	17	25	25	23	23	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
DWT	r		1	-.191	.052	-.797 **	-.804 **	.466	.587 *	-.718 **	-.739 **	-.651 **	-.664 **	-.504 *	-.534 **	-.084	-.108	-.316	-.294	.548 **	.539 **	.092	.168
	N		25	22	22	22	22	17	17	25	25	23	23	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
UpH	r			1	<u>.904</u> **	.104	.090	.015	.248	.263	.283	.233	.256	.242	.232	.357	.333	.533 *	.493 *	.005	.029	-.123	.103
	N			22	22	22	22	17	17	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
DpH	r				1	-.097	-.102	.218	.388	.054	.079	.072	.095	.093	.040	.175	.127	.337	.318	.069	.116	-.032	.185
	N				22	22	22	17	17	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
UDO	r					1	<u>.986</u> **	-.459	-.496 *	.770 **	.774 **	.775 **	.775 **	.406	.408	-.200	-.138	.028	-.032	-.542 **	-.414	-.042	-.258
	N					22	22	17	17	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
DDO	r						1	-.434	-.458	.784 **	.788 **	.803 **	.806 **	.426 *	.421	-.225	-.169	.022	-.029	-.574 **	-.473 *	-.065	-.242
	N						22	17	17	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
UCOD	r							1	<u>.846</u> **	-.466	-.463	-.443	-.434	-.360	-.400	-.130	-.008	-.026	.116	.337	.588 *	-.009	.044
	N							17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
DCOD	r								1	-.546 *	-.545 *	-.525 *	-.514 *	-.329	-.381	.115	.193	.168	.301	.422	.423	-.027	.032
	N								17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
UTN	r									1	<u>.995</u> **	.921 **	.928 **	.565 **	.608 **	-.088	-.039	.239	.173	-.421 *	-.234	-.180	-.168
	N									25	25	23	23	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
DTN	r										1	.917 **	.930 **	.575 **	.621 **	-.057	-.019	.279	.211	-.398 *	-.234	-.135	-.116
	N										25	23	23	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
UNO ₃	r											1	<u>.997</u> **	.311	.340	-.141	-.102	.144	.068	-.511 *	-.382	-.127	-.275
	N											23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
DNO ₃	r												1	.343	.372	-.137	-.102	.164	.087	-.490 *	-.361	-.108	-.218
	N													23	23	23	23	23	23	23	23	23	23

UNH ₃	r												1	.974 **	.083	.140	.287	.280	-.023	.061	-.158	.311
	N												25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
DNH ₃	r													1	.157	.220	.384	.377	.023	.053	-.126	.286
	N													25	25	25	25	25	25	25	25	25
UTP	r														1	.961 **	.824 **	.824 **	.181	-.175	-.149	-.150
	N													25	25	25	25	25	25	25	25	25
DTP	r															1	.819 **	.839 **	.157	-.146	-.212	-.223
	N													25	25	25	25	25	25	25	25	25
UPO ₄ ³⁻	r																1	.985 **	.020	-.258	-.126	-.116
	N													25	25	25	25	25	25	25	25	25
DPO ₄ ³⁻	r																	1	.037	-.240	-.116	-.114
	N													25	25	25	25	25	25	25	25	25
UChla	r																		1	.732 **	.425 *	.693 **
	N													25	25	25	25	25	25	25	25	25
DChla	r																			1	.301	.585 **
	N													25	25	25	25	25	25	25	25	25
USS	r																				1	.525 **
	N													25	25	25	25	25	25	25	25	25
DSS	r																					1
	N													25	25	25	25	25	25	25	25	25

** . 상관관계가 0.01 수준에서 유의합니다(양측).

* . 상관관계가 0.05 수준에서 유의합니다(양측).

Table 3. Significance of Pearson's correlation coefficient between upstream and downstream values of submerged weir in SY2 location

		UWT	DWT	UpH	DpH	UDO	DDO	UCOD	DCOD	UTN	DTN	UNO ₃	DNO ₃	UNH ₃	DNH ₃	UTP	DTP	UPO ₄ ³⁻	DPO ₄ ³⁻	UChla	DChla	USS	DSS
UWT	r	1	<u>.999</u> **	.595 *	.690 **	-.736 **	-.708 **	.355	.393	-.783 **	-.771 **	-.639 **	-.632 **	-.848 **	-.809 **	.055	.009	-.123	-.188	.047	-.272	.185	.167
	N	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
DWT	r		1	<u>.589</u> *	.692 **	-.732 **	-.702 **	.358	.404	-.779 **	-.768 **	-.624 **	-.617 **	-.850 **	-.808 **	.044	.005	-.132	-.195	.030	-.290	.173	.150
	N		17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
UpH	r			1	<u>.900</u> **	-.516 *	-.518 *	.024	-.165	-.318	-.300	-.322	-.295	-.576 *	-.606 **	.051	.025	-.037	-.019	.140	-.083	.030	-.022
	N			17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
DpH	r				1	-.606 **	-.591 *	-.030	-.095	-.405	-.387	-.339	-.316	-.568 *	-.580 *	.034	-.030	-.089	-.132	.102	-.212	-.059	-.052
	N				17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
UDO	r					1	<u>.996</u> **	-.384	-.339	.827 **	.819 **	.796 **	.777 **	.546 *	.478	-.371	-.399	-.282	-.283	-.334	-.190	-.235	-.524 *
	N					17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
DDO	r						1	-.364	-.291	.807 **	.796 **	.793 **	.771 **	.532 *	.461	-.399	-.418	-.315	-.326	-.358	-.227	-.256	-.534 *
	N						17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
UCOD	r							1	<u>.686</u> **	-.431	-.445	-.315	-.313	-.478	-.339	-.276	-.024	-.192	.003	.376	.113	.391	<u>.686</u> **
	N							17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
DCOD	r								1	-.522 *	-.550 *	-.340	-.361	-.260	-.220	-.171	.064	-.150	-.077	.024	-.105	.193	.421
	N								17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
UTN	r									1	<u>.996</u> **	.932 **	.926 **	.630 **	.585 *	-.186	-.204	-.138	-.072	-.159	-.103	-.148	-.423
	N									17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
DTN	r										1	.930 **	.927 **	.610 **	.566 *	-.207	-.246	-.162	-.100	-.124	-.088	-.129	-.428
	N										17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
UNO ₃	r											1	<u>.998</u> **	.463	.433	-.368	-.369	-.353	-.275	-.288	-.369	-.242	-.491 *
	N											17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
DNO ₃	r												1	.439	.413	-.376	-.382	-.364	-.282	-.276	-.366	-.243	-.492 *
	N												17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
UNH ₃	r													1	<u>.963</u> **	.091	.141	.195	.196	.014	.289	-.178	-.076
	N													17	17	17	17	17	17	17	17	17	17

DNH ₃	r														1	.056	.151	.165	.199	.108	.332	-.118	.031
	N														17	17	17	17	17	17	17	17	17
UTP	r															1	.907	.915	.800	-.142	.406	.072	.046
	N														17	17	17	17	17	17	17	17	17
DTP	r															1	.909	.887	-.075	.461	.188	.185	
	N														17	17	17	17	17	17	17	17	17
UPO ₄ ³⁻	r																1	.943	-.015	.579	.150	.090	
	N														17	17	17	17	17	17	17	17	17
DPO ₄ ³⁻	r																1	.123	.615	.266	.246		
	N														17	17	17	17	17	17	17	17	17
UChla	r																			1	.655	.566	.737
	N														17	17	17	17	17	17	17	17	17
DChla	r																				1	.385	.534
	N														17	17	17	17	17	17	17	17	17
USS	r																					1	.408
	N														17	17	17	17	17	17	17	17	17
DSS	r																						1
	N														17	17	17	17	17	17	17	17	17

**. 상관관계가 0.01 수준에서 유의합니다(양측).

*. 상관관계가 0.05 수준에서 유의합니다(양측).

Table 4. Significance of Pearson's correlation coefficient between upstream and downstream values of submerged weir in SY1 location

2.4 망성보 측정값 비교

망성보 지점에서 상류와 하류 지점 사이의 수중보가 물리·화학적인 요인으로 작용하는 지에 대해서 Pearson 상관관계를 이용하였고, 상류와 하류 지점에서 동일한 측정항목의 상관관계수(r)에는 밑줄로 표시를 하였다(Table 5). 수온 0.998($P \leq 0.01$), 수소이온농도 0.796($P \leq 0.01$), 용존산소량 0.980 ($P \leq 0.01$), 화학적 산소요구량 0.700 ($P \leq 0.01$), 총 질소 0.996 ($P \leq 0.01$), 질산성 질소 0.999 ($P \leq 0.01$), 암모니아성 질소 0.927 ($P \leq 0.01$), 총 인 0.910 ($P \leq 0.01$), 인산염 인 0.977 ($P \leq 0.01$), 엽록소 *a* 0.917 ($P \leq 0.01$), 부유물질 0.889 ($P \leq 0.01$)로 상류와 하류 지점 사이에 모두 유의한 양의 상관관계가 있었고, 모든 측정항목에서 상관관계수 0.7 이상으로 강한 상관관계를 보였다. 수온은 0.01 수준에서 용존산소량, 총 질소, 질산성 질소, 암모니아성 질소와 음의 상관관계를 보였으며, 엽록소 *a*, 부유물질과는 양의 상관관계를 보였다. 용존산소량은 0.01 수준에서 총 질소, 질산성 질소와 양의 상관관계를 보였으며, 부유물질과는 음의 상관관계를 보였으며, 0.05 수준에서 엽록소 *a*와 음의 상관관계를 보였다. 총 질소는 0.01 수준에서 질산성 질소와 양의 상관관계를 보였으며 0.05 수준에서 부유물질과 음의 상관관계를 보였다. 질산성 질소는 0.05 수준에서 부유물질과 음의 상관관계를 보였다. 암모니아성 질소는 0.01 수준에서 엽록소 *a*와 양의 상관관계를 보였다. 총 인은 0.01 수준에서 인산염 인, 엽록소 *a*와 양의 상관관계를 보였으며, 0.05 수준에서 부유물질과 양의 상관관계를 보였다. 엽록소 *a*는 0.01 수준에서 부유물질과 양의 상관관계를 보였다.

2.5 입암낙차공 측정값 비교

입암낙차공 지점에서 상류와 하류 지점 사이의 수중보가 물리·화학적인 요인으로 작용하는 지에 대해서 Pearson 상관관계를 이용하였고, 상류와 하류 지점에서 동일한 측정항목의 상관관계수(r)에는 밑줄로 표시를 하였다(Table 6). 수온 0.998($P \leq 0.01$), 수소이온농도 0.884($P \leq 0.01$), 용존산소량 0.993 ($P \leq 0.01$), 화학적 산소요구량 0.612 ($P \leq 0.01$), 총 질소 0.996 ($P \leq 0.01$), 질산성 질소 0.942 ($P \leq 0.01$), 암모니아성 질소 0.961 ($P \leq 0.01$), 총 인 0.916 ($P \leq 0.01$), 인산염 인 0.950 ($P \leq 0.01$), 엽록소 *a* 0.904 ($P \leq 0.01$), 부유물질 0.726 ($P \leq 0.01$)로 상류와 하류 지점 사이에 모두 유의한 양의 상관관계가 있었다. 화학적 산소요구량은 0.3 이상으로 보통의 상관관계를 보였으며, 수온, 수소이온농도, 용존산소량, 총 질소, 질산성 질소, 암모니아성 질소, 총 인, 인산염, 엽록소 *a*, 부유물질의 경우 상관관계수 0.7 이상으로 강한 상관관계를 보였다. 수온은 0.01 수준에서 용존산소량, 총 질소, 질산성 질소, 암모니아성 질소와 음의 상관관계를 보였으며, 화학적 산소요구량, 엽록소 *a*와는 양의 상관관계를 보였으며, 0.05 수준에서 부유물질과 양의 상관관계를 보였다. 수소이온농도는 0.01 수준에서 총질소와 양의 상관관계를 보였으며, 0.05 수준에서 질산성 질소와 양의 상관관계를 보였으며, 암모니아성 질소, 총 인과는 음의 상관관계를 보였다. 용존산소량은 0.01 수준에서 총 질소, 질산성 질소와 양의 상관관계를 보였으며, 화학적 산소요구량과는 음의 상관관계를 보였으며, 0.05 수준에서 엽록소 *a*, 부유물질과 음의 상관관계를 보였다. 화학적 산소요구량은 0.05 수준에서 총 질소, 질산성 질소와 음의 상관관계를 보였으며 부유물질과 양의 상관관계를 보였다. 총 질소는 0.01 수준에서 질산성 질소와 양의 상관관계를 보였다. 질산성 질소는 0.01 수준에서 암모니아성 질소와 양의 상관관계를 보였으며, 0.05 수준에서 인산염 인과 음의 상관관계를 보였다. 암모니아성 질소는 0.01 수준에서 엽록소 *a*와 양의 상관관계를 보였다. 총 인은 0.01 수준에서 인산염 인과 양의 상관관계를 보였으며, 0.05 수준에서 엽록소 *a*와 양의 상관관계를 보였다. 엽록소 *a*는 0.01 수준에서 부유물질과 양의 상관관계를 보였다.

		UWT	DWT	UpH	DpH	UDO	DDO	UCOD	DCOD	UTN	DTN	UNO ₃	DNO ₃	UNH ₃	DNH ₃	UTP	DTP	UPO ₄ ³⁻	DPO ₄ ³⁻	UChla	DChla	USS	DSS
UWT	r	1	<u>.998</u> **	.084	.082	<u>-.806</u> **	<u>-.809</u> **	.121	.154	<u>-.655</u> **	<u>-.628</u> **	<u>-.654</u> **	<u>-.657</u> **	.106	.221	.258	.247	-.191	-.273	<u>.576</u> **	<u>.575</u> **	<u>.542</u> **	<u>.514</u> **
	N	25	25	22	22	22	22	17	17	25	25	23	23	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
DWT	r		1	.081	.067	<u>-.814</u> **	<u>-.821</u> **	.132	.155	<u>-.662</u> **	<u>-.637</u> **	<u>-.672</u> **	<u>-.675</u> **	.097	.207	.231	.224	-.218	-.297	<u>.545</u> **	<u>.541</u> **	<u>.514</u> **	<u>.489</u> *
	N		25	22	22	22	22	17	17	25	25	23	23	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
UpH	r			1	<u>.796</u> **	.015	-.040	-.255	-.156	.095	.083	.127	.112	-.140	-.229	.102	.085	.281	.338	.028	-.040	-.052	-.112
	N			22	22	22	22	17	17	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
DpH	r				1	-.018	.008	-.190	-.042	.270	.258	.331	.323	-.153	-.177	.228	.156	.375	.359	.035	.057	-.021	-.168
	N				22	22	22	17	17	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
UDO	r					1	<u>.980</u> **	-.469	-.409	<u>.813</u> **	<u>.794</u> **	<u>.789</u> **	<u>.788</u> **	.077	-.046	-.366	-.335	-.042	.061	<u>-.465</u> *	<u>-.599</u> **	<u>-.646</u> **	<u>-.664</u> **
	N					22	22	17	17	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
DDO	r						1	-.437	-.389	<u>.835</u> **	<u>.815</u> **	<u>.826</u> **	<u>.828</u> **	.061	-.043	-.329	-.317	-.024	.051	<u>-.461</u> *	<u>-.566</u> **	<u>-.609</u> **	<u>-.650</u> **
	N						22	17	17	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
UCOD	r							1	<u>.700</u> **	-.331	-.308	-.408	-.394	.363	.286	.051	.100	.053	.001	.048	.102	.355	.446
	N							17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
DCOD	r								1	-.254	-.239	-.312	-.304	.058	.065	-.179	-.079	-.089	-.092	.138	.141	.438	.430
	N								17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
UTN	r									1	<u>.996</u> **	<u>.970</u> **	<u>.973</u> **	.192	.108	-.285	-.326	.002	.077	-.295	-.363	<u>-.466</u> *	<u>-.498</u> *
	N									25	25	23	23	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
DTN	r										1	<u>.958</u> **	<u>.963</u> **	.225	.153	-.269	-.311	.008	.080	-.250	-.330	<u>-.423</u> *	<u>-.469</u> *
	N										25	23	23	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
UNO ₃	r											1	<u>.999</u> **	.022	-.056	-.357	-.402	-.082	-.019	-.383	<u>-.414</u> *	<u>-.498</u> *	<u>-.581</u> **
	N											23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
DNO ₃	r												1	.032	-.041	-.352	-.401	-.075	-.015	-.381	<u>-.413</u> *	<u>-.491</u> *	<u>-.578</u> **
	N												23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
UNH ₃	r													1	<u>.927</u> **	.205	.273	.153	.168	<u>.574</u> **	.350	.390	.392
	N													25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

DNH ₃	r														1	.383	.424 *	.216	.214	.652 **	.488 *	.495 *	.502 *	
	N														25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
UTP	r															1	.910 **	.780 **	.730 **	.618 **	.668 **	.492 *	.526 **	
	N														25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
DTP	r															1	.691 **	.668 **	.586 **	.613 **	.463 *	.530 **		
	N														25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
UPO ₄ ³⁻	r																	1	.977 **	.354	.396 *	.285	.277	
	N														25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
DPO ₄ ³⁻	r																		1	.317	.333	.206	.223	
	N														25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
UChla	r																			1	.917 **	.764 **	.759 **	
	N														25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
DChla	r																				1	.761 **	.813 **	
	N														25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
USS	r																					1	.889 **	
	N														25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
DSS	r																						1	
	N														25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

**. 상관관계가 0.01 수준에서 유의합니다(양측).

*. 상관관계가 0.05 수준에서 유의합니다(양측).

Table 5. Significance of Pearson's correlation coefficient between upstream and downstream values of submerged weir in MS location

		UWT	DWT	UpH	DpH	UDO	DDO	UCOD	DCOD	UTN	DTN	UNO ₃	DNO ₃	UNH ₃	DNH ₃	UTP	DTP	UPO ₄ ³⁻	DPO ₄ ³⁻	UChla	DChla	USS	DSS
UWT	r	1	<u>.998</u> **	-.138	-.183	<u>-.814</u> **	<u>-.852</u> **	<u>.663</u> **	.411	<u>-.609</u> **	<u>-.589</u> **	<u>-.659</u> **	<u>-.659</u> **	.211	.258	.281	.335	-.163	-.134	<u>.621</u> **	<u>.666</u> **	<u>.408</u> *	<u>.479</u> *
	N	25	25	22	22	22	22	17	17	25	25	23	23	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
DWT	r		1	-.155	-.193	<u>-.835</u> **	<u>-.868</u> **	<u>.658</u> **	.427	<u>-.633</u> **	<u>-.612</u> **	<u>-.688</u> **	<u>-.688</u> **	.219	.275	.310	.363	-.139	-.106	<u>.625</u> **	<u>.674</u> **	<u>.421</u> *	<u>.504</u> *
	N		25	22	22	22	22	17	17	25	25	23	23	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
UpH	r			1	<u>.884</u> **	.273	.261	-.066	-.275	<u>.540</u> **	<u>.529</u> *	<u>.531</u> *	<u>.533</u> *	<u>-.428</u> *	-.391	<u>-.446</u> *	<u>-.509</u> *	-.307	-.315	-.373	<u>-.466</u> *	-.383	<u>-.490</u> *
	N			22	22	22	22	17	17	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
DpH	r				1	.325	.326	-.202	-.315	<u>.516</u> *	<u>.511</u> *	<u>.543</u> **	<u>.543</u> **	-.263	-.227	-.328	-.400	-.143	-.191	-.380	<u>-.468</u> *	<u>-.436</u> *	<u>-.514</u> *
	N				22	22	22	17	17	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
UDO	r					1	<u>.993</u> **	<u>-.642</u> **	<u>-.743</u> **	<u>.792</u> **	<u>.779</u> **	<u>.837</u> **	<u>.836</u> **	-.043	-.163	-.364	-.404	-.039	-.104	<u>-.484</u> *	<u>-.631</u> **	<u>-.528</u> *	<u>-.668</u> **
	N					22	22	17	17	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
DDO	r						1	<u>-.650</u> **	<u>-.727</u> **	<u>.772</u> **	<u>.759</u> **	<u>.815</u> **	<u>.814</u> **	-.045	-.154	-.336	-.382	-.008	-.076	<u>-.531</u> *	<u>-.664</u> **	<u>-.555</u> **	<u>-.671</u> **
	N						22	17	17	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
UCOD	r							1	<u>.612</u> **	<u>-.542</u> *	<u>-.521</u> *	<u>-.574</u> *	<u>-.574</u> *	-.341	-.167	-.143	-.047	-.221	-.177	.268	<u>.527</u> *	<u>.491</u> *	.363
	N							17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
DCOD	r								1	<u>-.569</u> *	<u>-.560</u> *	<u>-.664</u> **	<u>-.663</u> **	-.036	.003	.092	.149	-.050	.048	<u>.642</u> **	<u>.805</u> **	<u>.539</u> *	<u>.687</u> **
	N								17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
UTN	r									1	<u>.996</u> **	<u>.956</u> **	<u>.964</u> **	.075	.022	-.387	<u>-.495</u> *	-.184	-.258	-.223	-.362	-.287	<u>-.538</u> **
	N									25	25	23	23	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
DTN	r										1	<u>.942</u> **	<u>.951</u> **	.100	.052	-.368	<u>-.472</u> *	-.166	-.234	-.178	-.331	-.255	<u>-.506</u> **
	N										25	23	23	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
UNO ₃	r											1	<u>.942</u> **	<u>.951</u> **	.100	.052	-.368	<u>-.472</u> *	-.166	-.234	-.178	-.331	-.255
	N											23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
DNO ₃	r												1	-.139	-.197	-.391	<u>-.493</u> *	-.211	-.317	-.381	<u>-.481</u> *	<u>-.422</u> *	<u>-.662</u> **
	N												23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23

UNH ₃	r																				1	<u>.961</u> **	.387	.278	.136	.162	<u>.514</u> **	<u>.460</u> *	.300	.381	
	N																					25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
DNH ₃	r																						1	<u>.437</u> *	.336	.147	.180	<u>.575</u> **	<u>.526</u> **	<u>.444</u> *	<u>.468</u> *
	N																						25	25	25	25	25	25	25	25	25
UTP	r																						1	<u>.916</u> **	<u>.675</u> **	<u>.627</u> **	<u>.478</u> *	<u>.486</u> *	.253	<u>.447</u> *	
	N																						25	25	25	25	25	25	25	25	25
DTP	r																							1	<u>.600</u> **	<u>.614</u> **	<u>.474</u> *	<u>.514</u> **	.331	<u>.481</u> *	
	N																						25	25	25	25	25	25	25	25	25
UPO ₄ ³⁻	r																								1	<u>.950</u> **	.139	.056	.019	.185	
	N																								25	25	25	25	25	25	25
DPO ₄ ³⁻	r																									1	.189	.099	.147	.329	
	N																									25	25	25	25	25	
UChla	r																										1	<u>.904</u> **	<u>.668</u> **	<u>.683</u> **	
	N																									25	25	25	25	25	
DChla	r																											1	<u>.754</u> **	<u>.795</u> **	
	N																										25	25	25	25	
USS	r																												1	<u>.726</u> **	
	N																											25	25		
DSS	r																													1	
	N																												25		

** . 상관관계가 0.01 수준에서 유의합니다(양측).

* . 상관관계가 0.05 수준에서 유의합니다(양측).

Table 6. Significance of Pearson's correlation coefficient between upstream and downstream values of submerged weir in IA location

IV. 고찰

하천의 상류와 하류를 구분 짓는 수중보는 인공적인 구조물로써 하천의 연속성을 해치고 수생태계를 단절시킨다는 문제점과 다양한 환경 조건의 하천에서 보를 설치했을 때의 기능적 측면에서 많은 연구들이 이루어져왔다. 또한 수중보가 자연적인 구조물이 아닌 인공적인 구조물이라는 점에서 하천 생태계에 미치는 직·간접적인 영향들로 인하여서 철거에 대한 문제들이 대두되고 있다. 그로인해 4대강과 같은 큰 하천에 위치한 수중보에는 많은 연구들이 이루어지고 있다. 그에 비해 소규모 하천에 관한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서 하천의 상류와 하류 간의 수질에 물리·화학적인 환경 요인으로써 수중보가 영향을 미치는지에 대해서 분석하고, 하천 수중보의 철거 유무에 대해 수질 분석 측면에서 알아보고자 한다.

태화강 중류의 수중보 5지점의 상류와 하류 간의 물리·화학적인 11개 항목의 측정값 전체에 대해 상관관계 분석을 한 결과, 밑줄로 표시한 동일한 측정 항목 모두가 유의한 양의 상관관계가 있었다(Table 7). 부유물질을 제외한 모든 측정 항목에서 0.01 수준일 때 상관관계수 0.7 이상의 강한 상관관계를 보였다. 반면에 부유물질의 경우에는 상관관계수 0.3 이상으로 다른 측정 항목들에 비해 보통의 상관관계를 보였다. 사연1낙차공 지점의 측정값을 상관관계 분석 결과 부유물질에서는 유의한 상관관계가 나타나지 않았다. 또한 강정보와 사연2낙차공 지점의 상관관계 분석에서도 보통의 상관관계를 보였다. 대체적으로 부유물질의 경우 하류보다 상류에서 높은 측정값을 보였으며(Figure 12), 부유물질의 농도가 수중보를 거치기 전에는 높지만 수중보를 거치고난 뒤에는 농도가 떨어지게 됨을 알 수 있다. 이는 부유물질의 농도가 수중보에 의해 강물의 체류시간 동안 부유물질이 침전되어 상류의 농도가 하류보다 높게 측정되는 경향이 있다(5, 11).

이전의 연구들에서는 하천에 수중보가 설치되기 전과 설치된 후의 수질을 분석했을 때, 수중보를 설치하는 과정에서 퇴적물의 부유와 오염물질의 축적으로 인하여서 수질안정이 이루어지지 않아서 상류와 하류 간의 수질에 차이가 있었다. 하지만 수질의 안정이 이루어지고 난 이후의 하천의 상류와 하류에서의 유기물과 영양물질에 대한 분석에서 수중보가 설치되기 이전과 동일한 농도로 측정이 되었다(6, 17). 본 연구에서 태화강 중류에 설치된 수중보는 완공이 이루어진지 약 10년 정도 이상인 수중보들로서, 이미 하천의 수질이 안정된 상태로 판단이 된다. 그로 인해 상류와 하류 간의 수질에 물리·화학적인 환경 요인으로 수중보가 유기물과 영양물질에 영향을 주는 지에 대해 분석하기 적합했다.

본 연구에서는 수중보가 수질에 미치는 생물학적인 영향에 대해서는 분석하지 않았기에, 수중보가 하천의 수질에 영향을 주는 환경 요인으로 작용할 수 없다고 판단하기는 어렵다. 이전 연구에 따르면 하천에 설치한 인공적인 구조물로 인하여서 강물의 체류시간이 길어지기 때문에 상류의 조류 등 미생물이 살아가는 데 있어서 필요한 영양분이 쉽게 축적이 된다. 때문에 성장하기 적합한 환경에서 미생물들이 많이 분포하게 된다(14). 실제로 보의 중심으로 상류와 하류 지역에서의 총대장균군과 분원성대장균군 비율을 비교했을 때, 상류 지역에서의 비율이 더 높게 측정이 되었으며 인산염 인이나 부유물질과의 유의한 양의 상관관계가 있었다(16). 또한 생물학적 산소요구량(BOD)의 경우 수중보에서 강물이 정체되어 있을 때 생물학적 분해 물질이 분해되어 하류에서 측정값이 낮아지게 된다(5). 이는 수중보로 인해서 상류와 하류 간의 영향이 있음을 나타낼 수 있다. 본 연구에서 다루었던 물리·화학적인 분석뿐만 아니라 생물학적 분석을 추가적으로 진행하는 것이 수중보가 수질에 환경 요인으로 영향을 주는 지에 대한 신뢰성을 줄 수 있을 것으로 보인다.

강정보에서 입암낙차공까지의 연속적인 수중보 5곳 지점에서의 수질 분석 결과 대체적으로 영양물질(질소와 인)의 농도가 낮아지는 경향을 볼 수 있었다. 총 질소와 암모니아성 질소는 강정보에서 망성보까지 상류에서 하류 방향으로 농도가 감소하는 경향이었고, 망성보와 입암낙차공은 비슷한 농도의 수준을 보였다. 총 인과 인산염 인의 농도는 강정보와 사연2낙차공이 비슷한 수준이었고, 망성보와 입암낙차공도 서로 비슷한 수준이었으며, 강정보와 사연2낙차공의 농도가 망성보와 입암낙차공의 농도 보다 높았다. 이는 강정보의 상류 지점에 영양물질의 오염원이 위치하며, 망성보 지점까지는 강정보 상류 지점 오염원의 영향을 받고 있음을 보여 준다.

실제로 강정보 상류 지점에는 반천 일반산업단지와 연양 수질개선사업소와 같은 특정 오염원으로 작용할 수 있는 지점과 낚시 등과 같은 사람들의 여가활동으로 인한 오염에 의해 영양물질의 농도에 영향을 받았을 것으로 보인다. 이처럼 하천에서 수중보에 의한 수질의 영향보다는 사람들의 활동으로 인한 수질의 영향이 더 많을 것으로 판단이 된다. 또한 현재 완공된 수중보들은 하천 생태계에 일부분으로 동화가 되어서 환경적인 부분에서 많은 부분들을 균형을 맞추어 주고 있는 것으로 보인다. 그리고 입암낙차공과 같은 지점에서의 수중보는 강물의 체류시간을 늘려줌으로 하천 지형을 유지해주는 긍정적인 영향을 미치고 있다.

조사 지점 사이의 피어슨 상관계수를 구한 결과, 총 질소, 암모니아성 질소, 총 인, 인산염 인, 엽록소 a 농도 측정값의 경우 같은 보를 기준으로 상류와 하류 지점 사이의 상관관계 농도가 서로 다른 보의 상류와 상류 혹은 하류와 하류 사이의 상관관계의 강도보다 더 컸다. 이는 조사 지점에 위치한 수중보의 존재 보다 상류에 위치한 오염원으로부터의 거리에 의해 더 크게 영향을 받는 것으로 보인다.

		UWT	DWT	UpH	DpH	UDO	DDO	UCOD	DCOD	UTN	DTN	UNO ₃	DNO ₃	UNH ₃	DNH ₃	UTP	DTP	UPO ₄ ³⁻	DPO ₄ ³⁻	UChla	DChla	USS	DSS
UWT	r	1	<u>.998</u> **	.038	.125	<u>-.789</u> **	<u>-.794</u> **	<u>.343</u> **	<u>.319</u> **	<u>-.670</u> **	<u>-.664</u> **	<u>-.644</u> **	<u>-.645</u> **	<u>-.244</u> **	<u>-.229</u> *	.016	.026	<u>-.254</u> **	<u>-.253</u> **	<u>.524</u> **	<u>.500</u> **	<u>.366</u> **	<u>.379</u> **
	N	117	117	105	105	105	105	85	85	117	117	109	109	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117
DWT	r		1	.030	.118	<u>-.797</u> **	<u>-.800</u> **	<u>.335</u> **	<u>.319</u> **	<u>-.683</u> **	<u>-.678</u> **	<u>-.658</u> **	<u>-.660</u> **	<u>-.260</u> **	<u>-.244</u> **	.004	.015	<u>-.266</u> **	<u>-.264</u> **	<u>.512</u> **	<u>.487</u> **	<u>.355</u> **	<u>.372</u> **
	N		117	105	105	105	105	85	85	117	117	109	109	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117
UpH	r			1	<u>.870</u> **	.029	.005	<u>-.051</u> *	<u>-.159</u> *	.249	<u>.255</u> **	<u>.232</u> *	<u>.243</u> *	.060	.065	.080	.055	<u>.205</u> *	<u>.211</u> *	<u>-.084</u> *	<u>-.068</u> *	<u>-.078</u> *	<u>-.051</u> *
	N			105	105	105	105	85	85	117	117	109	109	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117
DpH	r				1	<u>-.064</u> *	<u>-.065</u> *	.010	<u>-.087</u> *	.188	<u>.197</u> *	<u>.198</u> *	<u>.212</u> *	.040	.050	.090	.065	<u>.205</u> *	<u>.202</u> *	<u>-.046</u> *	<u>.008</u> *	<u>-.065</u> *	<u>-.012</u> *
	N				105	105	105	85	85	117	117	109	109	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117
UDO	r					1	<u>.988</u> **	<u>-.424</u> **	<u>-.440</u> **	<u>.764</u> **	<u>.756</u> **	<u>.785</u> **	<u>.782</u> **	<u>.248</u> *	<u>.221</u> *	<u>-.183</u> *	<u>-.192</u> *	.026	.005	<u>-.502</u> **	<u>-.480</u> **	<u>-.422</u> **	<u>-.511</u> **
	N					105	105	85	85	117	117	109	109	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117
DDO	r						1	<u>-.420</u> **	<u>-.431</u> **	<u>.748</u> **	<u>.740</u> **	<u>.781</u> **	<u>.779</u> **	<u>.219</u> *	.191	<u>-.204</u> *	<u>-.219</u> *	.003	<u>-.025</u> *	<u>-.520</u> **	<u>-.496</u> **	<u>-.432</u> **	<u>-.505</u> **
	N						105	85	85	117	117	109	109	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117
UCOD	r							1	<u>.704</u> **	<u>-.316</u> **	<u>-.299</u> **	<u>-.331</u> **	<u>-.320</u> **	<u>-.002</u> *	.035	.018	.091	.050	.130	<u>.324</u> **	<u>.365</u> **	<u>.308</u> **	<u>.440</u> **
	N							85	85	117	117	109	109	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117
DCOD	r								1	<u>-.342</u> **	<u>-.338</u> **	<u>-.371</u> **	<u>-.368</u> **	.045	.067	.100	.125	.104	.147	<u>.360</u> **	.259	<u>.309</u> **	<u>.407</u> **
	N								85	117	117	109	109	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117
UTN	r									1	<u>.995</u> **	<u>.945</u> **	<u>.949</u> **	<u>.495</u> **	<u>.494</u> **	.037	.001	<u>.256</u> **	<u>.244</u> **	<u>-.317</u> **	<u>-.284</u> **	<u>-.284</u> **	<u>-.362</u> **
	N									117	117	109	109	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117
DTN	r										1	<u>.936</u> **	<u>.944</u> **	<u>.497</u> **	<u>.502</u> **	.034	<u>-.005</u> *	<u>.258</u> **	<u>.248</u> **	<u>-.289</u> **	<u>-.261</u> **	<u>-.255</u> **	<u>-.328</u> **
	N										117	109	109	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117
UNO ₃	r											1	<u>.998</u> **	<u>.342</u> **	<u>.329</u> **	<u>-.036</u> *	<u>-.078</u> *	.152	.136	<u>-.432</u> **	<u>-.425</u> **	<u>-.356</u> **	<u>-.486</u> **
	N											109	109	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117
DNO ₃	r												1	<u>.348</u> **	<u>.339</u> **	<u>-.040</u> *	<u>-.086</u> *	.156	.140	<u>-.422</u> **	<u>-.412</u> **	<u>-.350</u> **	<u>-.462</u> **
	N												109	109	117	117	117	117	117	117	117	117	117

UNH ₃	r													1	<u>.968</u> **	.508 **	.495 **	.561 **	.554 **	.187 *	.145	.094	.169
	N													109	117	117	117	117	117	117	117	117	
DNH ₃	r														1	.517 **	.506 **	.571 **	.572 **	.204 *	.196 *	.151	.228 *
	N														117	117	117	117	117	117	117	117	117
UTP	r															1	<u>.950</u> **	.853 **	.845 **	.244 **	.140	.161	.139
	N														117	117	117	117	117	117	117	117	
DTP	r																1	.801 **	.827 **	.239 **	.168	.178	.146
	N																117	117	117	117	117	117	
UPO ₄ ³⁻	r																	1	<u>.976</u> **	.069	-.016	.051	.019
	N																	117	117	117	117	117	
DPO ₄ ³⁻	r																		1	.066	-.015	.063	.047
	N																		117	117	117	117	
UChla	r																			1	<u>.821</u> **	.634 **	.701 **
	N																			117	117	117	117
DChla	r																				1	.594 **	.722 **
	N																				117	117	117
USS	r																					1	<u>.679</u> **
	N																					117	117
DSS	r																						1
	N																						117

** . 상관관계가 0.01 수준에서 유의합니다(양측).

* . 상관관계가 0.05 수준에서 유의합니다(양측).

Table 7. Significance of Pearson's correlation coefficient between upstream and downstream values of submerged weirs in five sampling locations

V. 참고문헌

1. 고택조, 윤병만, 류권규, 전경수. 2007. 보 철거에 의한 하천의 물리적 변화 연구. 한국수자원학회 2007년도 학술발표회 논문집:1084-1088
2. 김진흥. 2008. 수중보 철거의 타당성 검토 - 섬진강 수중보를 대상으로-. 한국수자원학회 2008년도 학술발표회 논문집:928-935
3. 박경수. 2004. 한강 하구역의 염분 분포 및 생태환경특성. 한국습지학회지 6:149-166
4. 서진원, 김희성. 2009. 위천 상류에 건설 중인 화북댐 상·하류 어류군집에 관한 연구. 생태와 환경, 42:260-270.
5. 송재준, 김백범, 이용재. 2015. 하천 수중보로 인한 영산강 상류 수질 변화에 관한 연구. 한국환경기술학회지 16:64-70
6. 이순화, 김보람, 이해원. 2014. 낙동강 중류수계의 인공보 설치에 따른 보 내 수질특성에 관한 연구. 대한환경공학회지 36:258-264
7. 장민호. 2012. 물고기를 위한 길 어도. 한국수자원학회지 45:78-84
8. 조연화, 박서연, 나종문, 김태웅, 이주현. 2019. 다목적댐 건설에 따른 하천의 생태 및 수문환경 변화. 한국습지학회지 21:16-27.
9. 조용철, 안홍규, 우효섭, 오종민. 2007. 하천수계의 보가 수질에 미치는 영향 분석. 한국수자원학회 학술대회논문집 2007:1033-1037.
10. 해양수산부. 국가어도정보시스템. <https://www.fishway.go.kr/home/mainPage.do>
11. 홍석연, 노동혁, 장재용, 박제철. 2007. 도시형 상,하천에 설치된 수중보 하류의 생태환경 평가에 관한 연구. 공동 춘계학술발표회 2007:1023-1033
12. 환경부. 2017. 수질오염공정시험방법
13. Cisowska, I., and M.G. Hutchins. 2016. The effect of weirs on nutrient concentrations. Sci. Total Environ. 542:997-1003
14. Kurunc, A., Y. Kadri, and O. Cengiz, 2006. Effects of Kilickaya Dam on concentration and load values of water quality constituents in Kelkit Stream in Turkey. J. Hydrol. 317:17-30

15. **Park, J., D. Wang, and W.H. Lee.** 2018. Evaluation of weir construction on water quality related to algal blooms in the Nakdong River. *Environ. Earth Sci.* **77**:408-419
16. **Seo, M, H. Lee, and Y. Kim.** Relationship between coliform bacteria and water quality factors at weir stations in the Nakdong River, South Korea. *Water* **2019**; **11**:1171-1187
17. **Wei, G., Z. Yang, B. Cui, B. Li, H. Chen, J. H. Bai, and S. K. Dong.** 2009. Impact of dam construction on water quality and water self-purification capacity of the Lancang River, China. *Water Resour. Manage.* **23**:1763-1780

Abstract

There have been many studies regarding the effect of dams including submerged weirs on river ecosystems in the Han River, the Nakdong River, the Geum River, and the Yeongsan River. Compared to these rivers, more investigations are necessary in the relatively small (short in length) and steep rivers for the water quality management in the presence of submerged weirs. In the Taewha River, which represents Ulsan City, several submerged weirs were built for agricultural water-intake and water level maintenance. To evaluate the effect of the submerged weirs on the water quality in the river, we performed physicochemical water quality analysis at the upstream and downstream of each of the 5 submerged weirs, Kangjeong (KJ), Sayeon 2 (SY2), Sayeon 1 (SY1), Mangsung (MS), and Ipam (IA) located in the midstream section of the river, and Pearson's correlation coefficients of the measurements were compared between different sampling locations.

Water quality parameters such as water temperature, pH, dissolved oxygen, chemical oxygen demand, total nitrogen (T-N), nitrate (NO_3^-), ammonia (NH_3), total phosphorus (T-P), phosphate (PO_4^{3-}), chlorophyll *a* and suspended solids were measured every two weeks from July 2020 to June 2021 with surface water samples from the upstream and downstream of each submerged weirs. The concentrations of T-N and NH_3 tended to decrease toward downstream direction from KJ to MS, while the concentrations were similar between MS and IA. In the cases of T-P and PO_4^{3-} , the concentrations were similar between KJ and SY2 as well as between MS and IA, and the concentrations of KJ and SY2 were higher than those of MS and IA. These results show that the source of nutrient pollutants (nitrogen and phosphorus) is located upstream of KJ in the river, and that the pollution source affects up to the MS location.

To evaluate the effect of submerged weirs on water quality, the Pearson's correlation coefficients were calculated between the measurements of different sampling locations. In cases of the concentration measurements of T-N, NH_3 , T-P, PO_4^{3-} , and chlorophyll *a*, the strength of correlation between 'upstream and downstream of each weir' was greater than those of correlation between 'upstream measurements or downstream measurements of different weirs'. The concentrations of nutrients (nitrogen and phosphorus) and photosynthetic algae (chlorophyll *a*) appeared to be more affected by the distance from the upstream pollutant source than the presence of the weirs in the midstream of the Taewha River.